Aus der medizinischen Universitätsklinik zu Frankfurt a. M.
(Direktor: Prof. Dr. Schwenkenbecher).

Ueber das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser und seine klinische Bestimmung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Chr. Baumgärtner,

von Chur

früher Assistenzarzt an der medizinischen Universitätsklinik in Frankfurt a. M.

Druck der Rhätischen Druckerei .. 1920

Aus der medizinischen Universitätsklinik zu Frankfurt a. M.
(Direktor: Prof. Dr. Schwenkenbecher).

Ueber das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser und seine klinische Bestimmung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Chr. Baumgärtner,

von Chur

früher Assistenzarzt an der medizinischen Universitätsklinik in Frankfurt a. M.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Druck der Rhätischen Druckerei .. 1920

Von der medizinischen Fakultät Basel genehmigt
auf Antrag von Professor *Stähelin.*

Eine genaue Kenntnis der Wasserbilanz ist von grossem praktischen Interesse. Besonders trifft dies zu für Krankheiten, die mit Hautödem, Ergüssen in Körperhöhlen und erhöhtem Gewebsturgor einhergehen. Die Literatur weist aber nicht viele Arbeiten auf, die sich mit einer genaueren Wasserbilanz beschäftigen. Das liegt wohl an der Umständlichkeit und Unvollkommenheit der Methoden.

Die tägliche Wasseraufnahme in Getränken und in Speisen ist individuell so verschieden, daß sich dafür kein Normalmaß aufstellen läßt. Neben dem in Getränken und Speisen enthaltenen Wasser kommt dem Körper noch das durch Oxydation des Wasserstoffes der Nahrung entstandene Wasser zu.

Nach einer Zusammenstellung von Magnus-Levy (14) sind enthalten in:

100 gr.	Fett	11,9 gr.	H	die	107,1 gr.	H_2O	geben
100 „	Kohlenhydraten	6,78 „	H	„	55,5 „	H_2O	„
100 „	Eiweiß	4,59 „	H	„	41,3 „	H_2O	„
100 „	Alkohol	13,04 „	H	„	117,4 „	H_2O	„

Es entfallen somit im:

Fett	11,3 gr.	H_2O	auf 100	Cal.
Kohlehydraten	11,3 „	H_2O	„ „	„
Eiweiß	9,3 „	H_2O	„ „	„
Alkohol	16,8 „	H_2O	„ „	„

Gleichen Calorienmengen entsprechen also bei den verschiedenen Nährstoffen ähnliche Mengen von Verbrennungswasser. Man könnte also sagen, dass die Menge des Oxydationswassers auf den Caloriengehalt der Nahrung bezogen, fast unabhängig ist von der Art der Nahrungsstoffe. Nur bei Genuss grösserer Alkoholmengen entsteht relativ viel Verbrennungswasser.

Die Ausscheidung des Wassers nimmt den Weg durch die Haut, die Lungen, die Nieren, den Stuhl und die Schleimhäute.

Im Stuhl gehen bei mittlerer gemischter Kost und normaler Stuhlbildung 60—120 gr. Wasser ab. Vegetabilische Kost erhöht mit dem Volumen des Stuhls auch dessen Wassergehalt.

Für die Menge des Urinwassers läßt sich für entsprechende Verhältnisse keine Norm aufstellen. Die Menge

desselben hängt — constante Zufuhr vorausgesetzt — von der Größe des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers ab. Bei vegetabilischer Kost nimmt die Urinmenge ab. Das soll mit der Abnahme der festen Ausscheidungsprodukte bei dieser Nahrung im Zusammenhang stehen. (36.)

Die Menge des durch Haut und Lungen des gesunden Menschen abgegebenen Wassers kann innerhalb weiter Grenzen wechseln.

In Ruhe und unter gleichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen ist die stündliche Wasserabgabe annähernd gleich. Pettenkofer und Voit (19) haben die durch Lunge und Haut abgegebene Wassermenge innerhalb 24 Stunden in Ruhe, bei angenehmen Feuchtigkeits- und Temperaturgraden, auf 931 gr. bestimmt.

Janssen (6) fand in der Menge der Wasserproduktion der Haut ein verschiedenes Verhalten der verschiedenen Körperteile.

Körperliche Arbeit vermag die Wasserabgabe durch Haut und Lungen wesentlich zu erhöhen. Bei mittlerer Arbeit können es 1½ Liter sein, bei anstrengender Arbeit bis 3 Liter. (4.)

Unter den klimatischen Faktoren, welche die Wasserabgabe durch Haut und Lungen beeinflussen, nimmt die erste Stelle die Lufttemperatur ein. Die Wasserabgabe ist am geringsten bei mittlerer Temperatur, wird größer bei niedriger Temperatur und ist am größten bei hoher äußerer Temperatur. (21.)

Temperatur	2°,	10-15°,	15-20°,	20-25°,	25-30°,	30-35°,	35-40°
H_2O Abgabe in gr. stündl.	37	28	19	23	43	84	112

Nach Rubner (21) und Wolpert (39) steht an zweiter Stelle unter den klimatischen Verhältnissen an Bedeutung für die extrarenale Wasserabgabe der Wassergehalt der Luft. In sehr trockener Luft wurden bei steigender Lufttemperatur erhebliche Wassermengen steigend abgegeben. In sehr feuchter Luft wurden bei steigender Temperatur auch steigende, aber bedeutend kleinere Wassermengen abgegeben. Rubner und Lewaschew (24) stellten dies bei excessiven Graden relativer Feuchtigkeit fest.

Sehr trockene Luft	15°	20,4°	25,3°	28,9°
5-8% rel. Feuchtigk.	36,3	54,1	75,5	105 gr. H_2O p. Stunde
81-89% rel. Feuchtigk.	9,0	15,2	23,9	„ H_2O „ „
Sehr feuchte Luft				

Nuttal (17) konnte innerhalb mittlerer Grenzen keine Vermehrung der Wasserdampfausscheidung der Haut feststellen. Auch Schwenkenbecher (28) konnte bei den geringen Schwankungen der relativen Feuchtigkeit der Zimmerluft, in der seine Versuchspersonen sich befanden, nicht feststellen, daß die Hautwasserausscheidung zu der relativen Feuchtigkeit in umgekehrtem Verhältnis gestanden hätte. Ob die Menge des extrarenal ausgeschiedenen Wassers von Schwankungen der relativen Feuchtigkeit, wie sie in Wohnräumen oder Krankenzimmern vorkommen können, überhaupt merkbar beeinflußt wird, bleibt noch zu entscheiden.

Nothwang (16) wies bei Tieren nach, daß eine Verminderung des Luftdruckes eine geringe Steigerung der Wasserabgabe zeitigt. Nuttal (17) glaubt, daß die Unterschiede in der Wasserabgabe bei Barometerschwankungen, wie sie bei gewöhnlichen Untersuchungen vorkommen, noch innerhalb der Fehlergrenzen des Versuches liegen. Derselbe Autor zieht auch in Betracht, daß die Jahreszeit, das Lebensalter, die Hautpflege eine nicht unbedeutende Rolle bei der Wasserabgabe spielen dürften. Bei eingefetteter Haut fand er, daß weniger Wasser abgegeben wird als bei normaler Beschaffenheit derselben.

Bekleidete Menschen scheiden nach Schierbeck (25) bei 32 Grad C. ebensoviel Hautwasser aus, wie nackte bei 36 Grad C.

Die Nahrung hat bei mittlerer Kost, mittlerer Lufttemperatur und mittlerer relativer Feuchtigkeit keinen Einfluß auf die extrarenale Wasserabgabe. Nahrung erhöht aber die Wasserabgabe dann, wenn sie als überschüssige Kost die Wärmeregulation über normale Grenzen hinaus in Anspruch nimmt. Auch das Trinken von Flüssigkeit nur von mittlerer Temperatur vermehrt die extrarenale Wasserausscheidung nach Schwenkenbecher (28), wenn sich die Wärmeabgabe in einem Zustand erhöhter Tätigkeit befindet. Schwenkenbecher vermutet hier Reflexe, die eine Rolle spielen können, oder denkt an die mit der Flüssigkeitsaufnahme verbundene Wärmeproduktion. Laschtschenko (10) fand in Ruhe die Hautwasserabgabe nach reichlicher Wasseraufnahme sowohl in kühler wie in warmer Luft unverändert.

Bei ruhigem Zimmeraufenthalt entfallen 40 % der Wasserdampfabgabe auf die Lungen, 60 % auf die Haut. Direkte Messungen des Wassers von der Körperoberfläche

durch Schierbeck (26) und Willebrandt (38) konnten das bestätigen.

Die Wasserabgabe durch die Luftwege schwankt im Allgemeinen innerhalb enger Grenzen. Rubner (20) untersuchte die Wasserabgabe durch die Lungen und fand in Ruhe 17 gr. pro Stunde, bei körperlicher Arbeit 19 gr., beim Singen 34 gr., bei mittlerer Temperatur und Feuchtigkeit. Die Menge des Lungenwassers hängt von der Ventilationsgröße ab. Die Exspirationsluft ist, außer bei stärkster körperlicher Arbeit, mit Wasserdampf gesättigt.

Ruhe, Arbeit, Lufttemperatur, Feuchtigkeitsgehalt der Luft, die Faktoren, die mit der Wasserabgabe durch Haut und Lungen in engerem Zusammenhange sind, stehen alle in Beziehung zum Wärmehaushalt des Körpers. Die Wasserabgabe durch die Haut steht in erster Linie im Dienste der Wärmeregulation. Die Wasserabgabe durch Haut und Lungen hat nicht die Aufgabe, den Wassergehalt des Körpers zu regeln, denn das ist die Aufgabe der Nieren.

Gewöhnlich wird das Wasser, das im Dienste der Wärmeregulation den Körper verläßt, in Dampfform abgegeben.*) In Zuständen aber, wo die Wärmeproduktion erhöht ist, oder wo die Wärmeabgabe auf dem Bestrahlungs- und Leitungswege beeinträchtigt ist, d. h. immer dann, wenn Ueberhitzung droht, tritt das Wasser als Flüssigkeit in Form von sichtbarem Schweiß aus dem Körper. In ruhender Luft, bei mittlerer Feuchtigkeit, tritt nach Schwenkenbecher (28), Schierbeck (26), Willebrandt (38) reichlicher flüssiger Schweiß bei 32—34 Grad auf, bei körperlicher Arbeit früher, bei Fettleibigen, bei denen die Strahlung und Leitung in Folge schlechter Blutversorgung der Haut durch das reichliche Fettpolster behindert ist, ebenfalls schon früher.

Die Schweißbildung ist individuell oft verschieden. Es können die Schweißdrüsen auch eingeübt werden, daß sie zeitig in richtiger Weise in Tätigkeit treten und Wasser sezernieren und nicht damit abwarten, bis eine Uebererwärmung des Körpers eintritt, deren Folge dann eine profuse, überschüssige Wasserabgabe ist. Die vermehrte Wasserabgabe bei besonderer Inanspruchnahme der Wärmeregulation geschieht hauptsächlich auf dem Wege der Haut.

*) Bei mittlerer Lufttemparatur und relativer Feuchtigkeit entfallen nach Rubner (22) auf die Wasserverdunstung 20,7 % der gesamten Wärmeabgabe.

Nach Schwenkenbecher (28) steht die Wasserausscheidung auf der Haut nicht nur im Dienste der Wärmeregulation. Er führt aus, daß sie auch zu andern Funktionen des Nervensystems in Beziehung steht. Der Autor erwähnt den Angstschweiß bei blasser, kühler Haut; ferner das Schwitzen junger Mädchen aus Scham bei einer ärztlichen Untersuchung. Auch das Schwitzen mancher Personen bei Ruhe, normalen äußeren Verhältnissen und nicht übermäßiger Ernährung. „Mit den Tatsachen dieser individuellen und andern, aus unbekannten Gründen erfolgten Schwankungen der Wasserdampfabgabe, muß jede Wasserbilanz rechnen."

Ueber die Art der Hautwasserabgabe bestehen heute noch verschiedene Ansichten. Nach Schwenkenbecher (29) ist die Perspiration nicht ein passiver, physikalischer Vorgang; sie stellt nach seinen Untersuchungen vorwiegend einen insensiblen Abgang eines wenig conzentrierten Schweißes, also eines Sekretes dar, das bei niedriger Außentemperatur und geringer relativer Feuchtigkeit in geringer Menge auftritt, ohne zur Bildung sichtbarer Tropfen zu führen. Willebrandt (38), der sich mehr der physikalischen Anschauung nähert, folgert im Gegensatz dazu, daß die unsichtbare Wasserabgabe der Haut wesentlich ein Verdunstungsvorgang sei. Die meisten übrigen neuern Autoren nehmen eine vermittelnde Stellung ein. Sie unterscheiden sich nur in der Annahme der Größe, die sie dem einen oder dem andern Faktor zuteilen.

Loewy und Wechselmann (12) kamen durch Vergleiche bei Untersuchungen von Personen mit fehlenden Talg- und Schweissdrüsen, mit Untersuchungen Gesunder zum Schluss, dass die Wasserabgabe durch die Haut eine echte, physikalischen Gesetzen folgende, insensible Perspiration darstellt. Diese physikalische Wasserabgabe in Form von Gasdiffusion könnte der gesamten Wasserabgabe der Haut genügen. Erst wenn an die Wärmeregulation grosse Anforderungen gestellt werden, würde zu dieser physikalischen Art der Wasserabgabe noch die sekretorische der Schweissdrüsen hinzutreten. Diese könnte unter gegebenen Verhältnissen auch Dampfform haben und kann genügen. Dann hätten wir eine insensible Schweissreaktion. Wird die Wärmeabgabe vermehrt beansprucht, so tritt flüssiger Schweiss auf. Auf die alte Streitfrage, ob physikalischer oder vitaler Vorgang, kann nicht näher eingegangen werden. (2.)

Die bisher geübten Methoden zur Bestimmung des durch Haut und Lungen abgegebenen Wassers sind entweder Verfahren, die eine komplizierte Apparatur erfordern, oder aber Berechnungen, die auf mehr oder weniger groben Schätzungen beruhen.

Das erste genauere Verfahren zur Bestimmung des extrarenal ausgeschiedenen Wassers ist dasjenige von Pettenkofer (18). In seinen Versuchen über die Respiration führte er einen Apparat ein zur Messung des durch Haut und Lungen abgegebenen Wassers und der Kohlensäure. Der Apparat besteht aus einer Respirationskammer, die luftdicht abgeschlossen ist, und in der eine Person sich aufhalten und atmen kann unter Verhältnissen, die einer normalen Lebensweise nahe kommen. Durch Luftpumpen findet ein fortwährender Luftwechsel von bekannter Größe in der Kammer statt. Pettenkofer bestimmte die Bestandteile der Luft bevor sie in den Apparat eintraten, also bevor sie mit der Versuchsperson in Berührung kamen, und wiederholte diese Bestimmungen an der aus der Kammer austretenden Luft. Sowohl von der in den Kasten eintretenden als von der den Kasten verlassenden Luft wurde ein immer gleich großer Bruchteil abgezweigt und dieser Teilstrom zur Bestimmung des Wassers durch Schwefelsäure-Bimsstein, und zur Absorption der Kohlensäure durch Barytwasser geleitet. Die Menge der absorbierten Kohlensäure wurde dann durch Titration mit Oxalsäure ermittelt, während die Bestimmung des Wassers durch Wägung der Absorptionsgefäße erfolgte. Aus der Differenz des Wassergehaltes der Luft vor dem Eintritt in den Respirationskasten und nach dem Austritt aus demselben wurde dann, unter Berücksichtigung der durch Gasuhren bestimmten Gesamtventilation, die durch Haut und Lungen abgegebene Wassermenge berechnet. Die Versuchsdauer betrug 24 Stunden; die Temperatur im Zimmer wurde immer gleich gehalten.

Durch Verbesserungen am Apparat gelang es, die Bestimmung der Wasserbilanz auf 3 % genau zu gestalten (35).

Im Prinzip durchaus ähnlich dem Pettenkofer'schen Apparate sind Kammern, wie sie andere Autoren zur Untersuchung des Gaswechsels konstruierten.

Sondén und Tigerstedt (34) wählten eine größere Kammer. In Folge ihrer Größe kommt der Aufenthalt darin natürlichen Verhältnissen näher; es können sich darin mehrere Personen aufhalten, sodaß man Mittelwerte bekommen kann. Die Wasserbestimmung ist ungenauer als bei der Methode nach Pettenkofer. Nicht nur der Größe der Kammer wegen, sondern weil der Wassergehalt der Luft nur durch Psychrometer, Hygrometer und Taupunktapparate bestimmt wird. Die Autoren schätzen den mittleren Fehler der Wasserbestimmung auf 10 %.

Atwater (1) benutzte bei seinen Berechnungen des Stoffumsatzes für den Gaswechsel eine Methode, die sich direkt an das Pettenkofer'sche Verfahren anlehnt. Der Wasserdampf wird durch conzentrierte Schwefelsäure absorbiert.

Auch Apparate, wie sie Jaquet (7) und Grafe (4) zur Untersuchung der Respiration benutzen, sind dem Pettenkofer'schen Apparate ähnlich. Sie enthalten kleine Luftvolumina und ermöglichen noch die Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffs, der für die Berechnung des qualitativen Stoffwechsels besonders wichtig ist. Beim Grafe'schen Apparate werden beim Eintritt in die Kammer und beim Austritt aus derselben je zwei Teilströme der Luft abgesaugt, die in Glaskolben geführt werden, in denen sich mit conzentrierter Schwefelsäure getränkte Bimssteinstücke vorfinden, wo das Wasser absorbiert und durch Wägung bestimmt wird.

Die bisher beschriebenen Apparate ermöglichen die Bestimmung der gesamten extrarenal ausgeschiedenen Wassermenge. Es gibt aber auch Apparate, die das Hautwasser allein, und Apparate, die das Lungenwasser allein bestimmen lassen.

Zu Ersteren gehört vor allem der Apparat, den Schierbeck (26), und nach ihm Schwenkenbecher (28) bei Anlaß seiner Untersuchungen über die Ausscheidung des Wassers durch die Haut von Gesunden und Kranken construierte. Schwenkenbecher führte seine Untersuchungen mit einem Blechkasten aus, der die Versuchspersonen auf einer hängenden Segelleinendecke liegend aufnahm. Der luftdicht abgeschlossene Kopf ragte aus dem Kasten heraus. Um eine gleichmäßige Temperatur im Kasten zu erzielen, befand sich dieser in einem Zimmer mit constanter Temperatur und constanter relativer Feuchtigkeit. Die Zimmerluft wurde durch den Apparat geführt. Aus der Differenz von je zwei Koppe'schen Haarhygrometern, die sich in der aus- und einströmenden Luft befanden, und der Gesamtluftmenge, welche Gasuhren anzeigten, wurde die Wasserabgabe unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der Segelleinendecke und des Hemdes der Versuchsperson ermittelt. Die einzelnen Experimente dauerten etwa 2½ Stunden.

Einen Apparat zur Messung des durch die Lungen abgegebenen Wassers konstruierte Rubner (20). Die Zu- und Ableitung der Luft und die Messung der Luftmenge geschieht so wie in den großen Kammerversuchen; den

Feuchtigkeitszuwachs zeigen Hygrometer an. Auch Grafe hat einen ähnlichen Kopf-Respirationsapparat, der außer dem Respirationswasser auch das durch die Haut des Kopfes abgegebene bestimmt, angegeben.

Apparate, in denen solche Bestimmungen ausgeführt werden, stehen aber nur größeren Laboratorien zur Verfügung und fordern zeitraubende Dienste geschulter Beobachter. Bei vielen Patienten, deren Wasserbilanz uns interessiert, läßt der Krankheitszustand die Ausführung eines so komplizierten Versuches nicht zu. Wie Schwenkenbecher (30) in seinen Arbeiten betont, verbietet sich die Anwendung solcher Apparate oft mit Recht schon wegen des damit verbundenen Eindruckes.

An manchen Kliniken war es üblich, die Wasserbilanz so festzustellen, daß man den Urin maß, das durch Lungen und Haut und im Kot abgegebene Wasser schätzte und dieser Summe das in Getränken und breiförmigen Speisen aufgenommene Wasser gegenüberstellte. *) Eine so rohe Methode der Wasserbilanz gibt uns über den Wasserhaushalt des Organismus oft weniger Aufschluß als die andern klinischen Untersuchungsmethoden, wie Perkussion, Inspektion, Palpation und ganz besonders als häufige Wägungen des Patienten. Solche können, in Verbindung mit einer Messung der Getränke und des Harns, zu einer ungefähren Schätzung der extrarenalen Wasserausscheidung führen.

Ein anderes Prinzip besteht darin, das extrarenal ausgeschiedene Wasser auf Grund des „unmerklichen Gewichtsverlustes“ zu bestimmen. Schon ältere Autoren (z. B. Leyden (11) haben dieses Prinzip benutzt. Schwenkenbecher hat mit dieser Methode neue Untersuchungen angestellt. Sie führten ihn zu dem Ergebnis, daß man das extrarenal ausgeschiedene Wasser durchschnittlich ca. auf 80% des unmerklichen Gewichtsverlustes schätzen könne (29). Diese Untersuchungen von Schwenkenbecher bildeten den Ausgangspunkt für diese Arbeit.

*) Das durch Oxydation des Wasserstoffs der Nahrung in recht erheblichen Mengen im Körper entstandene Wasser wird dabei vernachlässigt.

Wiegt man einen Menschen und nimmt nach einiger Zeit eine erneute Wägung vor, so hat das Körpergewicht — keine Nahrungs- oder Flüssigkeitsaufnahme vorausgesetzt — abgenommen, auch wenn kein Urin oder Kot abgegeben wurde. Dieser Gewichtsverlust, der sich wesentlich aus der Abgabe von Wasser und Kohlensäure summiert, wird als unmerklicher Gewichtsverlust bezeichnet.

Schwenkenbecher (32) hat selbst auf Beschränkungen hingewiesen, welche die Anwendung des von ihm aufgestellten Bruches ($^4/_5$) zur Bestimmung der extrarenalen Wasserabgabe aus dem unmerklichen Gewichtsverlust unterliegt. Wenn der Körper seinen Energiebedarf aus sauerstoffarmen Verbindungen, wie es Fette sind, deckt, so nimmt die Wassermenge im unmerklichen Gewichtsverlust gegenüber der Kohlensäure zu. Der Bruch wird größer. Solche Zustände finden sich im Hunger und bei Krankheiten, die mit Gewebszerfall einhergehen. Auch bei gesunden, normal ernährten Individuen kann eine Verschiebung des Verhältnisses entstehen, wenn die durch Haut und Lungen abgegebene Wassermenge groß ist. Es verschiebt sich dann die Proportion zu Gunsten des Wassers. Umgekehrt, wenn durch äußere Umstände oder durch Krankheiten, die mit Wasserverlust durch den Darm einhergehen, eine Herabsetzung des perspirierten Wassers eintritt; der Bruch $^4/_5$ wird kleiner.

Auch in unsern Vorversuchen, die wir bei normalen Personen unter normalen äußern Verhältnissen anstellten, konnten wir finden, daß das durch Haut und Lungen abgegebene Wasser oft mit 80 % des unmerklichen Gewichtsverlustes nicht richtig geschätzt sein konnte, und zwar fanden wir, daß man meistens gezwungen ist, einen höheren Prozentsatz anzunehmen.

Unsere Aufgabe war deshalb, eine Berechnungsart zu finden, um das durch Haut und Lungen abgegebene Wasser genauer und doch auf wenig umständliche Weise zu bestimmen. Auf Anregung von Herrn Privatdozent Dr. Isenschmid gingen wir von folgenden Ueberlegungen aus:

In einer Wasserbilanz läßt sich die in der Nahrung und in Getränken aufgenommene Wassermenge an Hand von bekannten Nahrungsmittelanalysen ziemlich genau bestimmen. Ebenso kann man das durch Oxydation des Wasserstoffes in der Nahrung entstandene Wasser berechnen; das im Stuhl befindliche Wasser läßt sich durch Wägung

vor und nach dem Trocknen ermitteln und das Urinwasser kann man aus dem Gewicht und Volumen des Urins und aus dem spezifischen Gewicht mit leidlicher Genauigkeit ermitteln. Die Hauptschwierigkeit bei der Aufstellung einer Wasserbilanz bietet das durch Lungen und Haut abgegebene Wasser dar. Dieses läßt sich aber aus dem unmerklichen Gewichtsverlust, wie in Folgendem gezeigt werden soll, unter manchen Verhältnissen recht genau berechnen.

Wiegt man einen Menschen auf einer zuverlässigen Wage und wiederholt man die Wägung nach zwei Stunden, ohne daß Nahrung aufgenommen oder Kot und Urin abgegeben wurden, so findet man nach dieser Zeit eine Körpergewichtsabnahme von ca. 100 gr. Diese Gewichtsdifferenz stellt den unmerklichen Gewichtsverlust dar. Führt man die Wägungen in größeren Zwischenräumen aus, so muß man zum erstgefundenen Gewichte noch das der aufgenommenen Nahrung und Flüssigkeit, zu der zweitgewonnenen Wägung die im Zeitraume ausgeschiedenen Kot- und Urinmengen addieren, und die zweite Summe von der ersten subtrahieren (vergl. Tafel 2, S. 19.)

Der unmerkliche Gewichtsverlust beruht im Wesentlichen auf der Ausscheidung von Wasser und Kohlensäure durch die Haut und die Lungen. *) Kohlensäure plus Wasser stellen aber eine Summe dar, die größer ist als der unmerkliche Gewichtsverlust, denn der Körper hat in der gleichen Zeit auch einen Zuwachs erfahren. Dieser Zuwachs rührt her von dem durch die Atmung gleichzeitig aufgenommenen Sauerstoff. Also stellt sich der unmerkliche Gewichtsverlust folgendermaßen dar:

$$\text{unmerklicher Gewichtsverlust} = H_2O + CO_2 - O_2$$

Wenn in dieser Formel $CO_2 = O_2$ wäre, d. h. das Gewicht der ausgeschiedenen Kohlensäure gleich demjenigen des in der gleichen Zeit aufgenommenen Sauerstoffs, so würde unmerklicher Gewichtsverlust $= H_2O$ sein, d. h. der unmerkliche Gewichtsverlust würde genau dem Gewichte des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers entsprechen. Daß dies unter Umständen der Fall sein kann, werden wir weiterhin sehen.

Gewöhnlich ist aber das Gewicht der ausgeschiedenen Kohlensäure größer als dasjenige des aufgenommenen

*) Harnstoff und Kochsalz können ihrer geringen Mengen wegen als Ausscheidung durch die Haut ausser Betracht bleiben, ebenso die geringe Ausscheidung von Methan und von Wasserstoff durch die Respiration.

Sauerstoffes, der unmerkliche Gewichtsverlust also größer als das Gewicht des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers; um wieviel, hängt von dem Verhältnis ab, in welchem CO_2 zu O_2 steht.

$\frac{CO_2}{O_2}$ in Gasvolumen ausgedrückt, wird bekanntlich respiratorischer Quotient genannt. Für unsere Ueberlegungen ist aber nicht das Verhältnis der Volumina, sondern dasjenige der Gewichte wichtig. $\left(\frac{\text{gr. } CO_2}{\text{gr. } O_2}\right)$

Wenn in der gleichen Zeit eine Gewichtseinheit CO_2 ausgeschieden würde, in der eine Gewichtseinheit O_2 aufgenommen wird; wenn also $\frac{\text{gr. } CO_2}{\text{gr. } O_2} = 1$ wäre, würde der Fall eintreten, daß der unmerkliche Gewichtsverlust gleich wäre dem Gewicht des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers.

Wenn wir der Frage nachgehen, ob derartige respiratorische Quotienten überhaupt vorkommen, müssen wir das Verhältnis der Gewichte umrechnen in das allgemein übliche Verhältnis der Volumina.

1 gr. $CO_2 = 0{,}5058$ Liter

1 gr. $O_2 = 0{,}6998$ „

$$\frac{1 \text{ gr. } CO_2}{1 \text{ gr. } O_2} = \frac{0{,}5058}{0{,}6998} = 0{,}7227$$

Bei einem respiratorischen Quotienten von 0,72 sind also die Gewichte der ausgeschiedenen Kohlensäure und des gleichzeitig aufgenommenen Sauerstoffs gleich und in unserer Formel wird unmerklicher Gewichtsverlust = H_2O. In manchen Zuständen, namentlich im Hunger und im Fieber, sind respiratorische Quotienten von dieser Größe, ja selbst kleinere, nicht selten festgestellt worden. In diesen Zuständen wird also nicht selten das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser im Gewichte dem unmerklichen Gewichtsverlust gleichkommen.

Der respiratorische Quotient hängt von den im Körper sich abspielenden chemischen Prozessen und damit in erster Linie von der Nahrung ab.

Der theoretische respiratorische Quotient beträgt für:

Stärke	1,00
Fett	0,707
Eiweiß	0,809
Alkohol	0,667

Respiratorische Quotienten, wie sie bei ausschließlicher Kohlehydrat- und Fettverbrennung vorkommen, wer-

den beim normalen Menschen nie erreicht, da neben diesen Stoffen stets Eiweiß verbrannt wird.

Magnus-Levy (15) nimmt für den nüchternen Zustand und mittlere Ernährungsverhältnisse einen minimalen Eiweißverbrauch von 15 % des Calorienumsatzes an. Er stellt die Grenzwerte der respiratorischen Quotienten bei einseitiger Ernährung wie folgt fest:

15% Eiweiß 85% Kohlehydrate geben 0,971 als respir. Quot.
15% „ 85% Fett „ 0,722 „ „ „

Unter normalen Verhältnissen werden nach seinen Ausführungen diese Grenzwerte nicht überschritten, vorausgesetzt, daß die Nahrungsstoffe bis zu den Endprodukten verbrannt werden.

Da der respiratorische Quotient bis zu 0,722 sinken kann, so kann es also auch in einem normalen Organismus vorkommen, daß der respiratorische „Gewichtsquotient" = 1 wird, und damit nach unseren Darlegungen:

unm. Gew. Verl. = $H_2O + CO_2 - O_2$
unm. Gew. Verl. = H_2O

Daß also das „unmerklich" ausgeschiedene Wasser gleich ist dem „unmerklichen" Gewichtsverlust.

Der respiratorische Quotient ist aber gewöhnlich größer als 0,722 und das durch Lungen und Haut ausgeschiedene Wasser wird an Menge somit den unmerklichen Gewichtsverlust nicht erreichen. Der Unterschied zwischen unmerklichem Gewichtsverlust und unmerklich ausgeschiedenem Wasser wird um so größer sein, je mehr der respiratorische Quotient über 0,722 steigt, also der Zahl 1 sich nähert bezw. je mehr Kohlehydrate verbrannt werden. Würden wir den jeweiligen respiratorischen Quotienten unserer Versuchspersonen kennen, so könnten wir daraus die Differenz zwischen unmerklichem Gewichtsverlust und unmerklich ausgeschiedenem Wasser berechnen.

Auf derartige Ueberlegungen haben wir unsere Versuche und Berechnungen zur Lösung unserer Aufgabe aufgebaut. Unser Augenmerk mußte darauf gerichtet sein, die Differenz zwischen dem unmerklichen Gewichtsverlust und dem unmerklich ausgeschiedenen Wasser durch eine möglichst einfache Berechnung zu bestimmen. Vorbedingung für die Möglichkeit einer solchen Berechnung, die die Kost und ihren theoretischen respiratorischen Quotienten in erster Linie in Betracht zu ziehen hat, ist, daß die Versuchsperson sich mit einer Kost von be-

kannter Zusammensetzung im Stoffwechselgleichgewicht befindet; denn die aufgenommene Kost kann nur dann zur Grundlage einer Berechnung gemacht werden, wenn sie innerhalb der Versuchsperiode im Körper restlos zu ihren Endprodukten zersetzt wird, wenn also während des Versuches keine Körpersubstanz angesetzt wird. Auch ein überschüssiger Abbau von Körpersubstanz darf während der Versuchszeit nicht stattfinden, wenn die aufgenommene Nahrung als Maßstab für den gleichzeitigen Stoffumsatz dienen soll. Wir hatten also die Aufgabe, die Versuchsperson mit einer ausreichenden Erhaltungsdiät ins Stoffwechselgleichgewicht zu setzen. Aus dieser Sachlage ergibt sich, daß zunächst nur länger dauernde (mehrtägige) Versuchsperioden ins Auge gefaßt werden konnten.

Wir gehen zunächst über zur Beschreibung eines Versuches. Die Nutzanwendung unserer theoretischen Ueberlegungen wird aus den Versuchen hervorgehen.

Jeder Versuchstag begann morgens 8 Uhr und dauerte bis andern Tags früh 8 Uhr. Der Patient erhob sich nüchtern vom Bett, entleerte Stuhl und Urin, und kam unmittelbar darauf mit einem Wiegehemd von bekanntem Gewicht bekleidet auf eine genaue Dezimalwage und wurde von uns selbst gewogen.*) Auch abends 8 Uhr wurde der Patient gewogen. Die 12-stündigen Urin- und Stuhlentleerungen wurden gewogen und gemessen und deren Wassergehalt berechnet, bezg. durch Wägung vor und nach dem Trocknen (Kot) bestimmt. Ins Protokoll kam auch die dreimal tagsüber abgelesene Lufttemperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, den wir durch zwei geprüfte Haarhygrometer ermittelten. Lufttemperatur und relative Feuchtigkeit suchten wir auf einer mittleren, für das subjektive Befinden angenehmen Höhe zu halten. Der Patient befand sich während des ganzen Versuchs im Bett und verließ es nur auf kurze Zeit zur Bestimmung des Körpergewichts und zur Urin- und Stuhlentleerung.

Die Nahrung, die in der Zeit von morgens 8 Uhr bis abends 8 Uhr gegeben wurde, wurde durch eine genaue Wage gewogen.**) Wir setzten die Nahrung aus einfachen

*) Wir verfügten über eine ungewöhnlich empfindliche und genaue Wage, die das Gewicht auf 10 gr. genau angab. Die gewöhnlichen Krankenhauswagen liessen uns im Stich und wir mussten lange suchen bis wir eine zuverlässige Wage von genügender Empfindlichkeit fanden.

**) Unter den in den Küchen üblichen „Tafelwagen" finden sich manche, die an Empfindlichkeit und Genauigkeit den zu stellenden Ansprüchen genügen.

Nahrungsmitteln von bekannter und möglichst constanter Beschaffenheit zusammen. Die verabreichte Nahrung bestand aus gekochter Milch, Brötchen, Zwieback, Butter, gekochten Eiern und Apfelkompott. *) In einzelnen Versuchen wurden auch Kartoffeln gegeben.**) In manchen Versuchen kam noch täglich eine bestimmte Wassermenge dazu; immerhin nicht mehr als daß die gesamte Flüssigkeitsmenge höchstens 1800 gr. betrug. Damit verabreichten wir eine bekömmliche Kost, die die meisten Patienten, auch mit Rücksicht auf ihre Krankheit, nehmen können. Die Menge der Nahrung richtet sich nach dem Calorienbedürfnis. Wir fanden, daß bei Bettruhe und mäßiger Körperbewegung um 35 Calorien, oft aber 40 Calorien pro kg. Körpergewicht notwendig waren, um auf die Dauer ein Gleichbleiben des Körpergewichtes zu erzielen. Die täglich aufgenommene Eiweißmenge betrug 70—80 gr. Die Nahrungsaufnahme verteilten wir auf 3 große Mahlzeiten: morgens unmittelbar nach der Wägung, mittags und abends ½ Stunde vor den Messungen. Vormittags und nachmittags wurden zwei kleine Zwischenmahlzeiten verabreicht. Damit die gesamte Nahrung vollständig aufgenommen wurde, ließen wir die Versuchsperson unter Kontrolle essen. Es wurde sehr darauf geachtet, daß die Versuchsperson keine andere Nahrung oder Flüssigkeit aufnehmen konnte und daß sie auch sonst unseren Vorschriften nachkam. Wir isolierten sie in einem Einzelzimmer und bewachten sie namentlich während der Besuchsstunde aufs genaueste. Wir wählten für unsere Versuche Personen, die wir während einer vorausgegangenen Behandlungszeit als zuverlässig kennen gelernt hatten und die wir von der Zweckmäßigkeit unseres Vorgehens überzeugen konnten. Es ist selbstverständlich, daß eine Anzahl von Patienten schon ihrer psychischen Verfassung wegen nicht in Betracht kommen konnte. Im Ganzen hatten wir aber weniger Schwierigkeiten von Seiten seelischer Widerstände und Unzuverlässigkeit der Patienten zu überwinden, als befürchtet werden könnte. Die meisten waren über die große Sorgfalt, die sie für ihre Person aufgewandt sahen, erfreut und unterstützten uns durch ihr Verhalten. Die Versuche wurden zunächst mit gesunden oder quasi gesunden Personen beiderlei Geschlechts von verschiedenem Alter angestellt.

*) Milch und Apfelkompott hielten wir in geschlossenen Gefässen, um die Wasserverdunstung zu verhüten.

**) Ueber die Zweckmässigkeit einer so komplizierten Kost und die Bedenken, die einer solchen Mannigfaltigkeit entgegenstehen, wird später zu sprechen sein.

Um möglichst genaue Resultate zu erhalten, nahm ich auch einen Selbstversuch vor. Die Versuche erstreckten sich über alle Jahreszeiten. Um zufällige Schwankungen nach Möglichkeit zu vermeiden, haben wir gewöhnlich mehrere Versuchstage zu einer Periode zusammengefaßt und sozusagen als einen Versuch berechnet.

Wie wir unsere Messungen und Beobachtungen bei den Versuchen zu Protokoll brachten, soll durch die Aufzeichnungen, die wir während eines Versuchstages beim Versuche der Pat. F. (siehe Seite 18) anstellten, wiedergegeben werden:

Tafel 1.

24. Febr. 8 Uhr a. m.

Körpergew. nackt: 66090 gr. — 357 gr. (Wiegeh.) = 65733 gr.

24. Febr. 8 Uhr p. m.

Körpergew. nackt: 66830 gr. — 357 gr. (Wiegeh.) = 66473 gr.
Urin 24. II. 8 h am. — 8h p. m.: 459 gr. 1030 spez. Gew. 446 cm³.
Stuhl „ „ „ : 105 gr. frisch, 20 gr. getrocknet

25. Febr. 8 Uhr a. m.

Körpergew. nackt: 66120 gr. — 357 gr. (Wiegeh.) = 65763 gr.
Urin 24/25. II. 8h p. m. — 8h a. m.: 362 gr. 1020 spez. Gew. 355 cm³.
Stuhl „ „ „ : — „

Zimmertemp.	Relat. Feuchtigkeit	Befinden	Zeit
22° C	58—59	o. B.	8 h a. m. 24. II.
20° C	52—53	o. B.	1 h p. m. „
18° C	52—52	o. B.	8 h p. m. „

Nahrungsaufnahme (24. II. 8. a. m. — 25. II. 8. a. m.)

1350	gr.	gekochte Milch, 1032 spez. Gew.
200	„	Brötchen
40	„	Butter
150	„	Ei ohne Schale
280	„	Kartoffeln ohne Schalen
1	„	Kochsalz
200	„	Trinkwasser (9 h p. m.)

Die ersten Tage eines Versuchs, die dazu bestimmt waren, den Organismus in das Stoffwechselgleichgewicht zu bringen, scheiden für unsere Berechnungsweise zunächst aus; denn unsere Methode hat das Bestehen des Stoffwechselgleichgewichtes zur Voraussetzung und ein solches dürfte im Allgemeinen erst erreicht worden sein, nachdem

die Versuchsperson schon mehrere Tage die constante Versuchsdiät bekommen hatte.

Bei der Berechnung des Versuchs stellen wir folgende einzelne Berechnungen an:

1. Berechnung des unmerklichen Gewichtsverlustes,
2. Berechnung des mutmaßlichen Gaswechsels,
   und auf Grund dieser Resultate:
3. Berechnung des extrarenal ausgeschiedenen Wassers.

Als Beispiel soll ein Versuch dienen, den wir an der Patientin F. in der Zeit vom 15. bis 25. Februar 1918 ausführten. Es handelt sich um ein Dienstmädchen von 32 Jahren, welches am 6. September 1917 mit einer leichten Lungenspitzentuberkulose in unsere Klinik eingetreten war. In den ersten Wochen ihres Krankenhausaufenthaltes fanden sich Tuberkelbazillen im spärlichen Sputum, ferner einige feuchte, klanglose Rasselgeräusche über der rechten Spitze hinten, wo auch eine geringe Verkürzung des Perkussionsschalles nachzuweisen war. Fieber hatte während der ganzen Zeit des Afenthaltes im Krankenhause nie bestanden. Die physikalischen Erscheinungen gingen alle zurück; das Sputum verschwand, das Körpergewicht nahm zu. Im Zeitpunkt unseres Versuches war die Patientin klinisch als geheilt zu betrachten.

Bei einer Kost, wie sie auf Tafel 3 (Seite 20) verzeichnet ist, und die auf das Kilo Körpergewicht knapp 35 Calorien ausmacht, war der Verlauf des morgens nüchtern bestimmten Körpergewichts während der 10 Versuchstage folgender:

Tafel 1 a.

15. Febr.	66843 gr.		21. Febr.	65783 gr.	
16. „	65643 „		22. „	65933 „	
17. „	65503 „		23. „	65773 „	
18. „	65493 „		24. „	65733 „	
19. „	65533 „		25. „	65763 „	
20. „	65693 „				

Wir sehen, daß bei einer calorisch ausreichenden Kost in den beiden ersten Versuchstagen eine Gewichtsabnahme von 1200 und 140 gr. erfolgte. Dieses Verhalten trat bei allen unseren Versuchspersonen ein, ja bei manchen war die Gewichtsabnahme noch viel beträchtlicher und zwar auch bei solchen Personen, deren Kost so reichlich bemessen war, daß dabei sicher Fettansatz erfolgte. Die anfängliche Gewichtsabnahme beruht sicher auf Wasser-

verlust. Wir werden auf diese Erscheinung später zurückkommen.

In den beiden ersten Versuchstagen ist ein Stoffwechselgleichgewicht nicht vorauszusetzen. Sie scheiden deshalb für unsere Betrachtung zunächst aus. Am 18. Februar erreichte das Körpergewicht seinen Tiefpunkt und steigt in der folgenden Zeit unter geringen Schwankungen im Ganzen etwas an, immerhin so unbedeutend, daß angesichts der keineswegs überschüssigen Kost die Annahme eines ungefähren Stoffwechselgleichgewichts trotzdem zu Recht bestehen kann. Die beiden Tage vom 17.—19. Februar haben wir, weil die Versuchskost erst seit wenigen Tagen dargereicht worden, der Körper damit also vielleicht noch nicht ins Gleichgewicht gelangt war, zur Berechnung zu einer besonderen Periode zusammengefaßt (vergl. S. 30). Für die letzten 5 Tage vom 20.—25. Februar glaubten wir dagegen ziemlich sicher annehmen zu dürfen, daß der Organismus mit der gleichmäßigen Kost ins Gleichgewicht gelangt war. Wir haben deshalb die letzten 5 Tage als eine Periode zusammengefaßt und geben im Folgenden die Berechnung als Musterbeispiel ausführlicher wieder (Tafel 2—4):

Tafel 2.

Pat. F. 20.—25. Febr. 1918.

Berechnung des unmerklichen Gewichtsverlustes.

Anfangsgewicht (20. Febr.)	65693	
Gewicht der Nahrung und Getränke	11600	
	77293	77293
Endgewicht (25. Febr.)	65763	
Gewicht des Urins	4871	
Gewicht des Stuhls	863	
	71497	71497
Differenz = unmerkl. Gew. Verl. für 5 Tage		= 5796

Die Berechnung des unmerklichen Gewichtsverlustes für die fünftägige Periode ist wohl ohne weiteres verständlich. Zum Körpergewicht zu Beginn der Periode wird das Gewicht der gesamten während der Versuchszeit aufgenommenen Nahrung und der Getränke addiert; zum Körpergewicht am Ende des Versuches das Gewicht der sichtbaren Ausscheidungen. Schließlich wird die zweite Summe von der ersten subtrahiert.

Tafel 3.

Berechnung des mutmasslichen Gaswechsels.

	Eiweiss	Fett	Disacch.	Poly-sacch.	Wasser
6750 gr. Milch	202,5	243	303,75		5872,5
1000 gr. Brötchen	80	10		570	280
200 gr. Butter	1,4	168	1,0		28
750 gr. Ei	94,5	90	4,5		555
1500 gr. Kartoffeln	31,5	1,5		315	1128
1400 gr. Trinkwas.					1400
11600	409,9	512,5 5% 25,6	309,25 1% 3,0	885 2% 17,7	9263,5
		486,9	306,25	867,3	

Auf Tafel 3 finden sich die einzelnen Nahrungsmittel und Getränke mit ihrem Gehalt an Eiweiß, Fett, Disacchariden und Polysacchariden und Wasser eingetragen. Den Wassergehalt der Nahrungsmittel mit Ausnahme von Ei und Butter haben wir durch mehrere Bestimmungen selbst festgestellt, jedoch nicht von den gleichen Portionen, die zu diesem Versuche dienten und an anderen Tagen. Abweichungen von unseren Normalzahlen, die ein Mittel aus mehreren Bestimmungen darstellen, sind also möglich, namentlich bei den Kartoffeln. Den Wassergehalt der Milch haben wir in Anlehnung an unsere Bestimmungen etwas willkürlich mit 870 gr. für 1000 gr. Milch eingesetzt, wenn ihr spezifisches Gewicht in gekochtem Zustande unmittelbar vor der Verabreichung an die Versuchspersonen 1030, oder, wie in diesem Versuche, darüber betrug. War das spezifische Gewicht geringer, was während des Krieges öfters vorkam, haben wir 882,5 H_2O für 1000 Milch angenommen. Daß ein solcher Mittelwert nicht für jede einzelne Portion zutreffen kann, ist selbstverständlich.

Die Zahlen zur Berechnung des Gehaltes an Nährstoffen sind den bekannten Tabellen von Schwenkenbecher (31) und dem König'schen (28) Werke entnommen.

Da von den Nährstoffen ein Teil der Resorption entgeht und im Stuhle erscheint, haben wir vom Fett 5 %, von der Stärke 2 %, von den Disacchariden 1 % in Abzug gebracht. Diese Zahlen haben wir aufgestellt an Hand der Aufstellungen derjenigen Autoren, die diese Verhält-

nisse am genauesten untersucht haben. Rubner (23b), Atwater (1), Zusammenstellung bei Magnus-Levy (15).

Von Eiweiß setzen wir zunächst ohne Rücksicht auf die Unvollständigkeit der Resorption die „Brutto"-Zahl ein.

Tafel 4:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
409,9 gr. Eiw.	158,2	17,38	37,87
486,9 „ Fett	372,5	57,94	55,99
306,25 „ Di. Sacch.	128,9	19,6	157,6
867,3 „ Pol Sacch.	385,1	53,77	428,4
	1044,7	148,69	679,86

Bei der Berechnung der zur Verbrennung verfügbaren Elemente rechnen wir (Tafel 4) mit den Zahlen, die sich bei Magnus-Levy (15) für Eiweiß angegeben finden. Für 100 gr. Eiweiß bleiben zur Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser, nach Abzug der in Kot und Harn austretenden Elemente, 38,6 gr. C., 4,24 gr. H. und 9,24 gr. O. übrig. Für die übrigen Nahrungsstoffe, die, soweit sie resorbiert und nicht angesetzt werden, normalerweise zu den Endprodukten verbrennen, haben wir einfach die Zahlen eingesetzt, die sich aus den Elementaranalysen ergeben. Für 100 gr. Fett 76,5 gr. C., 11,9 gr. H., 11,5 gr. O; für 100 gr. Disaccharide 42,1 gr. C., 6,4 gr. H., 51,5 gr. O; für 100 gr. Polysaccharide 44,4 C., 6,2 H., 49,4 O (Tafel 4).

Tafel 5.

Die 1044,7 gr. C verbrennen mit 2786 gr. O zu 3830,7 gr. CO^2
„ 148,69 „ H „ „ 1189,5 „ O zu 1338,21 „ H_2O
Die Summe des zu diesen Verbrennungen erforderlichen Sauerstoffes ist also: 3975,5 „
In der Nahrung enthalten: 679,9 „ O
Es müssen also der Luft entnommen sein: 3295,6 gr. O

Da wir nun die Menge der aus der Nahrung entstandenen Kohlensäure und diejenige des aus der Luft aufgenommenen Sauerstoffes kennen, haben wir die Daten, die wir zur Berechnung des extrarenal ausgeschiedenen Wassers aus dem unmerklichen Gewichtsverlust brauchen (vergl. S. 12).

Unmerkl. Gewichtsverl. = $H_2O + CO_2 - O_2$

H_2O = unmerkl. Gewichtsverl. $- CO_2 + O_2$

$H_2O = 5796 - 3830{,}7 + 3295{,}6$

Extrarenal ausgeschiedenes Wasser = 5260,9 gr.

Da wir einen Beweis für die Richtigkeit unserer Berechnung des von der Haut und Lunge abgegebenen Wassers mangels einer entsprechendden Vorrichtung nicht durch eine direkte Messung im Pettenkofer'schen oder einem anderen ähnlichen Apparate erbringen konnten, stellten wir eine einfache Wasserbilanz auf, um uns darüber Rechenschaft zu geben, wie die soeben errechnete Zahl dazu paßt. Man kann auch aus einer Wasserbilanz das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser berechnen. Wir stellten zu diesem Zwecke, wie in Tafel 6 näher ausgeführt ist, das während der 5 Versuchstage aufgenommene Wasser und das durch Oxydation aus der Nahrung entstandene, dem im Stuhle und im Urin ausgeschiedenen Wasser gegenüber. Das in dieser Bilanz bei den Ausgaben fehlende Wasser muß auf den anderen Wegen, also durch Haut und Lungen, ausgeschieden worden sein.

Das Urinwasser berechneten wir, indem wir nach der bekannten Haeser'schen Formel aus dem Volumen und dem spezifischen Gewichte des Harns seinen Gehalt an festen Stoffen schätzten.

Die beiden letzten Stellen des in vier Ziffern ausgedrückten spezifischen Gewichtes werden mit 3,33 multipliziert und geben so den Gehalt eines Liters Urin an festen Stoffen. Wenn wir die auf diese Weise berechnete Zahl für den Gehalt des Harns an festen Bestandteilen, von dem Gewicht des Urins abziehen, erhalten wir eine Zahl, die dem Wassergehalt des Harns annähernd entsprechen muß.

Die Wasserabgabe durch den Darm wurde durch Wägung des Kotes vor und nach dem Trocknen auf dem Wasserbade bestimmt.

Tafel 6:

Wasserbilanz vom 20.—25. Febr. 1918

Einnahmen:		
Aufgenommenes H_2O	9263,5	(Tafel 3, Seite 20)
Oxydationswasser	1338,2	(Tafel 5, Seite 21)
	10601,7	
Ausgaben:		
Im Urin	4579	
Im Stuhl	698	
	5277	

Differenz der Einnahmen und der sichtbaren Ausgaben

$10601{,}7 - 5277 = 5324{,}7$

Wenn das Körpergewicht während der Versuchsperiode gleich geblieben wäre, müßte diese Zahl dem unmerklich ausgeschiedenen Wasser entsprechen. Das Körpergewicht hat aber um 70 gr. zugenommen. Wenn wir diese Zunahme auf Wasser beziehen, *) muß um soviel weniger den Körper auf extrarenalem Wege verlassen haben. Die extrarenale Ausscheidung berechnet sich also aus der Wasserbilanz auf:

$$5324{,}7 - 70 = 5254{,}7$$

Gegenüber der Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust (5263) haben wir also eine Abweichung von nur 8,3 gr.

Man sieht, daß die Abweichung der beiden Berechnungsweisen sehr gering ist; in diesem Falle nur Bruchteile eines Promille beträgt und kann daraus schließen, daß der Berechnungsmethode aus dem unmerklichen Gewichtsverlust eine recht große Genauigkeit zukommt; ja, wenn man die vielen Fehlerquellen bedenkt, die für unsere Methoden in Betracht kommen, kann man wohl sagen, daß die Uebereinstimmung in diesem Beispiele eine über Erwarten gute ist.

Die Wägung des Patienten kann im besten Fall auf 10 gr. genau erfolgen, und wenn bei der ersten und der letzten Wägung der Versuchsperiode die Abweichungen in entgegengesetzter Richtung liegen, kann schon dadurch ein Fehler von weit über 10 gr. entstehen.

Die Annahme, daß bei den Versuchspersonen Stoffwechselgleichgewicht besteht, ist für den einzelnen Fall nicht bewiesen. Es ist ja unmöglich, in jedem Falle durch

*) Wir haben in allen unsern Berechnungen Zunahmen und Abnahmen des Körpergewichts ganz auf Rechnung von Wasser gesetzt. Bei calorisch eben ausreichender Kost ist es ja unwahrscheinlich, dass die Schwankungen des Körpergewichts, namentlich, wenn sie beträchtlicher sind, eine Folge des Ansatzes oder der Abgabe fester Stoffe wären. Namentlich ist das unwahrscheinlich in den zahlreichen Fällen unserer Beobachtung, wo trotz einer calorisch überschüssigen Kost, die einen erheblichen Ansatz an Körpersubstanz hervorzurufen geeignet war, eine Abnahme des Körpergewichtes erfolgte. Aber selbst, wenn Gewichtsschwankungen mit Schwankungen des Bestandes an festen Stoffen zusammenhingen, müsste doch entsprechend der Zusammensetzung der Gewebe unseres Körpers auch dann die Schwankung zum grossen Teile auf Rechnung des Wassers erfolgen. (Das Gleiche gilt, wenn die Differenz des Körpergewichts nur auf einer ungleichen Füllung des Darmes beruhen sollte.) Wir glauben also richtig zu tun, wenn wir die Schwankungen des Körpergewichtes einfach auf Rechnung des Wassers setzen. Auf jeden Fall machen wir damit einen weit geringeren Fehler, als wenn wir sie bei der Aufstellung der Wasserbilanz ganz ausser Acht lassen wollten.

ausführliche Analyse des gesamten Stoffwechsels festzustellen, ob die Annahme eines Stoffwechselgleichgewichtes zu Recht besteht. Wir sind aber nach der Erfahrung der Stoffwechselphysiologen zu der Annahme berechtigt, daß ein Individuum bei einer sowohl calorisch, als ihrem Stickstoffgehalt nach ausreichenden, täglich gleichen Kost, in der Regel innerhalb weniger Tage in ein mindestens annäherndes Stoffwechselgleichgewicht eintritt, d. h. an Stickstoff und Kohlenstoff ungefähr gleichviel ausscheidet, wie ihm zugeführt wird. Geringe Abweichungen vom absoluten Stoffwechselgleichgewicht können aber auch an den spätern Versuchstagen nie sicher ausgeschlossen werden und können die Genauigkeit unserer Berechnungsweise, die doch voraussetzt, daß während der Versuchszeit die in die Berechnung eingesetzte Nahrung gänzlich zu ihren Endprodukten verbrennt, beeinträchtigen. Keinesfalls dürfen wir uns das bestehende Stoffwechselgleichgewicht als so absolut vorstellen, daß nicht ein Fehler von einigen Gramm täglich durch die Abweichungen dadurch bedingt sein könnte.

Der Gehalt der Nahrungsmittel an Wasser ist auch bei den von uns gewählten kein ganz constanter. Tägliche Wasserbestimmungen aller zugeführten Nahrungsmittel sind in klinischen Versuchen praktisch nicht durchführbar. Wir haben nur ab und zu Stichproben auf ihren Wassergehalt untersucht und bei dem größten Faktor, der Milch, je nach dem Ausfall der täglichen Bestimmung des spezifischen Gewichtes, wie früher ausgeführt, bald einen geringeren, bald einen höheren Wassergehalt eingesetzt, entsprechend dem Ausfall einiger eigener Analysen. Wenn wir aber annehmen, daß einem gleichen spezifischen Gewicht immer ein gleicher Wassergehalt entspricht, so begehen wir sicher oft einen kleinen Fehler, da ja außer dem Wassergehalt besonders auch der Fettgehalt das spezifische Gewicht beeinflußt. Der Fehler, der durch unrichtige Einschätzung des Wassergehaltes der Milch entstanden sein kann, ist möglicherweise bei der recht schwankenden und oft geringwertigen Beschaffenheit der Milch, die uns während des Krieges für unsere Patienten geliefert wurde, in manchen Versuchen recht groß gewesen. Bei den großen Milchmengen, die wir verabreichten, dürfte der dadurch bedingte Fehler in der Bilanz gelegentlich die Größe ganzer Prozente erreicht haben.

Auch für Brot und Zwieback setzten wir die Zahlen ein, die wir in drei bis vier an verschiedenen Tagen vorge-

nommenen Bestimmungen gefunden haben. Je nach dem diese Backwaren etwas frischer oder älter waren, konnten sie einige gr. Wasser mehr oder weniger enthalten. Auch der Gehalt an Nährstoffen war sicher nicht so ganz constant, wie wir ihn in unsern Rechnungen eingesetzt haben; nicht einmal für die Eier, die doch als ganz besonders constant zusammengesetztes Nahrungsmittel gelten können, sind Schwankungen des Gehaltes an Wasser und an Nährstoffen ausgeschlossen, die auf das Resultat unserer Rechnung einen, wenn auch nur recht kleinen Einfluß ausüben könnten.

Größer sind die Fehler, die dadurch entstehen können, daß die immer gleichen Korrekturen, die wir für unvollständige Resorption der Nahrungsmittel machen und die eben nur Durchschnittswerte darstellen, nicht den Verhältnissen eines jeden einzelnen Falles genau entsprechen können. In dem einen Falle wird die Ausnutzung eine bessere, in dem andern eine schlechtere gewesen sein, als den eingesetzten Durchschnittswerten entspricht.

Die Berechnung bezw. Schätzung des Wassergehaltes der Urine an Hand des Haeser'schen Coeffizienten ist ja auch nur eine approximative. Abweichungen von den von Haeser für den Gehalt an festen Stoffen aufgestellten Regeln um mehrere Prozente sind schon in normalen Harnen häufig und können Fehler von mehreren Grammen in unseren Wasserbilanzen für den Urin eines einzelnen Tages bedingen.

Die Bestimmung des Wassers im Stuhl durch Wägung vor und nach dem Trocknen ist eine relativ genaue Methode. Immerhin kann beim Trocknen der relativ großen Stuhlmengen mit ihren teilweise hygroskopischen Bestandteilen keine Gewähr dafür übernommen werden, daß auch nach Trocknung über dem Wasserbade, bis zur Gewichtsconstanz, nicht noch kleine Mengen Wasser darin enthalten waren.

Wir sehen, daß unseren Berechnungen mannigfache Fehler, von wenigen Grammen bis zu der Größenordnung des Wiegefehlers und darüber anhaften können. Wenn der Zufall es will, daß sie alle in der gleichen Richtung liegen, sich also summieren, müssen recht erhebliche Fehler entstehen können, die zusammen wohl mehrere Prozent ausmachen können. Gewöhnlich müssen aber diese verschiedenen Fehler recht klein gewesen sein, oder sich teilweise gegenseitig aufgehoben haben, sonst wäre die gute Ueber-

einstimmung der Resultate der „Wasserbilanzen“ mit unseren Berechnungen des unmerklich ausgeschiedenen Wassers, die wir in der Mehrzahl der Fälle finden, nicht möglich. Manchmal betrug die Abweichung der beiden Rechnungen, also der wahrscheinliche Fehler der Bestimmung nur Bruchteile von Prozenten, in anderen Fällen war sie auch etwas größer und betrug über ein Prozent. In einzelnen Fällen haben wir auch Abweichungen der Resultate der beiden Berechnungsarten um mehrere Prozente gefunden.

Wie weit eine unrichtige Bemessung der Kost und die dadurch bedingten Störungen des Stoffwechselgleichgewichtes für solche größeren Abweichungen verantwortlich gemacht werden können, werden wir später an Hand eines Beispieles besprechen.

Die ausführliche Berechnungsweise, welche wir soeben vorgeführt haben, erscheint für die praktische Anwendung wohl allzukompliziert. Daß sie sich erheblich vereinfachen läßt, ohne an Genauigkeit einzubüßen, soll im Folgenden dargetan werden. Herr Dr. Isenschmid schlug mir vor, folgendem Gedankengange nachzugehen, um die ganze Berechnung in eine einfache Formel zusammenzufassen.

Die Menge von Kohlensäure und Sauerstoff, welche bei der Oxydation entsteht bezw. zu dieser Oxydation aufgenommen werden muß, ist für jeden Nahrungsstoff eine constante, ebenso selbstverständlich das Verhältnis, in dem die Gewichte dieser Gasmengen zu einander stehen.

Laut Elementaranalyse enthalten z. B. 100 gr. Polysaccharid 44,4 gr. Kohlenstoff, 6,2 gr. Wasserstoff und 49,4 gr. Sauerstoff. Die 44,4 gr. C ergeben mit 118,4 gr. O eine CO_2 menge von 162,8 gr. 6,2 gr. H verbrennen mit 49,6 gr. O zu 55,8 gr. H_2O. Zu diesen beiden Verbrennungen sind also insgesamt 168 gr. Sauerstoff verbraucht worden, 100 gr. Polysaccharide enthalten aber selbst 49,4 gr. O, umsoviel gr. weniger Sauerstoff, nämlich 118,6 gr. O muß somit für diese Verbrennung aus der Luft entnommen werden. Die Differenz CO_2 minus O_2 ist also: 162,8—118,6 = 44,2. Also beträgt bei der Verbrennung von 100 gr. Polysaccharid die Differenz CO_2 minus O_2 = 44,2 gr.

Da aber noch von der aufgenommenen Menge von Polysaccharid 2 % für unvollständige Resorption abzuziehen

sind, haben wir für 100 gr. in der Nahrung enthaltener Polysaccharide die Zahl 43,28 einzusetzen.

Die in analoger Weise berechnete Zahl für 100 gr. Disaccharide, unter Zugrundelegung der Elementar-Analyse C: 42,1, H: 6,4, O: 51,5 und eines Verlustes von 1 % für unvollständige Resorption beträgt 41,95. Die beiden Zahlen für die beiden Gruppen von Kohlehydraten haben wir zur weiteren Vereinfachung in eine einzige, an Größe zwischen beiden liegende, nämlich **42,8** zusammengezogen, unter Berücksichtigung des Mengenverhältnisses, in welchem die beiden Arten von Kohlenhydraten in unserer Versuchskost enthalten sind.

Die auf entsprechende Weise berechnete Zahl für Eiweiß beträgt **13,9**; diejenige für Fett ist (mit entgegengesetzten Vorzeichen) — **6,8**.

Diese Zahlen geben also an, um wieviel Gramm mehr Kohlensäure ausgeschieden als Sauerstoff aufgenommen wird, wenn 100 gr. der verschiedenen Nahrungsstoffe von einem im Stoffwechselgleichgewicht befindlichen Menschen aufgenommen und verarbeitet werden.

Diese Differenz $CO_2—O_2$ ist aber maßgebend für die Berechnung des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers aus dem unmerklichen Gewichtsverlust, d. h. es muß, wie schon früher dargetan wurde, von dem unmerklichen Gewichtsverlust der Betrag dieser Differenz subtrahiert werden.

Durch Haut und Lungen ausgeschiedenes H_2O = unmerklicher Gewichtsverlust — $(CO_2—O_2)$.

Die Differenz $(CO_2—O_2)$ können wir aber nun, wenn wir den Gehalt der Nahrung an den verschiedenen Nährstoffen kennen, an Hand der soeben abgeleiteten Zahlen auf einfachste Weise berechnen. Sie ist ja für je 100 gr. der drei in der Nahrung enthaltenen Nährstoffe: + 13,9 + 42,8 und — 6,8.

Folglich ist:

$(CO_2—O_2) = 13{,}9 \times 100$ gr. Eiweiß $+ 42{,}8 \times 100$ gr. K. hyd. $— 6{,}8 \times 100$ gr. Fett

oder:

$$13{,}9\ \% \text{ Eiweiß} + 42{,}8\ \% \text{ K. hyd.} — 6{,}8\ \% \text{ Fett}$$

Ein einfaches schematisches Beispiel möge die Berechnungsweise mittelst dieser Formel verdeutlichen:

Eine Versuchsperson hätte in einer dreitägigen Versuchsperiode einen unmerklichen Gewichtsverlust von 3 Kilo aufgewiesen und hätte in dieser Zeit 300 gr. Eiweiß, 1000 gr. Kohlehydrate und 100 gr. Fett konsumiert. Es wäre dann das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser:

H_2O = unmerkl. Gew. Verl. $-(CO_2-O_2)=3000-(CO_2-O_2)$
$(CO_2-O_2)=\underline{13,9}\times 3+\underline{42,8}\times 10-\underline{6,8}\times 1=41,7+428-6,8=463$

Durch Haut und Lungen ausgeschiedenes Wasser $= 3000-463 = 2537$.

Wenden wir dieses vereinfachte Rechnungsverfahren auf die vorher ausführlich berechnete Periode unseres Versuches an:

Durch Haut und Lungen ausgeschied. H_2O = unmerkl. Gewichtsverlust (CO_2-O_2)
$= 5796 - (13,9 \times 4,09 + 42,8 \times 11,94 - 6,8 \times 5,125)$
$= 5796-533 = 5263$.

Diese vereinfachte Berechnungsweise gab uns in allen Fällen bis auf eine minimale Abweichung das gleiche Resultat wie die ausführliche Berechnung. Das es sich nur um eine Zusammenziehung derselben handelt, ist diese Uebereinstimmung selbstverständlich, wir werden deshalb künftig, wenn es sich allein um die Berechnung des durch Haut und Lungen ausgeschiedenen Wassers handelt, ausschließlich mit der einfachen Formel rechnen können.

Zur Aufstellung einer vollständigen Wasserbilanz wird es aber immer notwendig bleiben, das Oxydationswasser der Nahrung zu berechnen. Doch ist es nicht nötig, dies in jedem Falle auf dem Umwege über die Berechnung des Wasserstoffgehaltes zu tun, sondern auch hier können Standardzahlen eingesetzt werden; nämlich für 100 gr. Eiweiß 38,1 gr. H_2O; für 100 gr. Kohlehydrate 55,3*) gr. H_2O; für 100 gr. Fett 101,8 gr. H_2O.

Auch bei der Rechnung mit diesen Zahlen ist wie bei derjenigen, welche wir für die vereinfachte Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverluste angegeben haben, die Bruttozahl der aufgenommenen Nährstoffe einzusetzen, denn die aufgestellten Standardzahlen enthalten schon einen Abzug für unvollständige Resorption.

Man kann den Einwand erheben, daß die beiden Berechnungsarten, die Bestimmung des durch die Haut und Lungen ausgeschiedenen

*) 57,03 f. Disaccharide (57,6—1 %), 54,7 f. Polysaccharide (55,8—2 %.)

Wassers aus dem unmerklichen Gewichtsverlust und aus der Wasserbilanz miteinander übereinstimmen müssen, auch wenn man für die Nahrung ganz andere Suppositionen macht; wenn z. B. Fett oder Kohlenhydrate ganz oder teilweise durch Wasser ersetzt würden.

Nach der Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust beträgt in dem vorgeführten Beispiel (Pat. F. S. 18). das bei einer Nahrung von 408,9 gr. Eiweiß, 1194 gr. Kohlenhydrate und 512 gr. Fett durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser 5261 gr. Nach der Berechnung aus der Wasserbilanz 5254 gr. Die Differenz der beiden Berechnungsarten macht also 7 gr. aus.

Nimmt man nun an, daß die Nahrung nur aus 408,9 gr. Eiweiß und 1194 gr. Kohlenhydraten besteht und schaltet die 512 gr. Fett der Nahrung aus, indem man dafür die gleiche Gewichtsmenge Wasser einsetzt, so ist das von der Haut und Lungen abgegebene Wasser = unmerklicher Gewichtsverlust — $(CO_2 - O_2)$ = 5796 — (4,09 X 13,9 + 11,9 x 42,8) = 5228. Die Probe durch die Wasserbilanz ergibt nun unter dieser Voraussetzung folgendes: vom Oxydationswasser ist das durch das Fehlen von Fett in Wegfall kommende Wasser abzuziehen (1338,2—5,12 x 101,8 = 817). Dem aufgenommenen Wasser sind 512 gr. zuzuzählen (9263,5+512 = 9775,5). Die Differenz der gesamten Wassereinnahmen und sichtbaren Ausgaben beläuft sich dann auf 10592,5 —5277 = 5315. Die Berechnung des durch Haut und Lungen abgegebenen Wassers aus der Wasserbilanz beträgt unter Berücksichtigung der Körpergewichtszunahme, die auf Wasserzunahme beruht 5245 gr. Die Differenz der zwei Berechnungsarten ist also auch hier klein (17 gr.).

Enthält die Nahrung bei einer weiteren Annahme 408,9 gr. Eiweiß und 512 gr. Fett und an Stelle der 1194 gr. Kohlenhydrate die gleiche Gewichtsmenge Wasser, so berechnet sich das durch Lungen und Haut abgegebene Wasser aus dem unmerklichen Gewichtsverlust auf 5796 — (13,9 x 4,09—5,12 x 6,8) = 5774. In der Wasserbilanz sind den Wassereinnahmen 1194 gr. zu addieren (9263,5+1194 = 10457,5), vom Oxydationswasser infolge Fehlens von 1104 gr. Kohlenhydraten 660,8 gr. (11,94 x 55,3) abzuziehen (1338,2—660,8 = 678). Die Wassereinnahmen betragen demnach 11135 (10457,55 + 678). Die Differenz der Wassereinnahmen und sichtbaren Ausgaben beträgt somit 11135—5277 = 5858. Das aus der Wasserbilanz berechnete, durch Haut und Lungen abgegebene Wasser stellt sich somit unter Anrechnung der Körpergewichtszunahme von 70 gr., die auf Wasser bezogen werden, auf 5788 gr. Die Differenz der beiden Berechnungsarten beträgt auch hier nur 14 gr.

Die schon oben eingeschränkte Anwendbarkeit der Wasserbilanz als Kontrolle über die Richtigkeit unserer Berechnungen für das durch Haut und Lungen abgegebene Wasser kann durch die erhobenen Einwendungen als unrichtig dargestellt werden. Geht man aber von der Voraussetzung aus, daß die Nahrung die durch viele Prüfungen bestimmte, in Tabellen angegebene Zusammensetzung besitzt, oder hat man diese, wie wir es selbst für verschiedene Nahrungsmittel ausführten, durch Analysen eruiert, so dürfte die Wasserbilanz, immer unter oben angeführten Kautelen, eine Kontrolle für unsere Berechnungen darstellen.

Wie sich die gesamte Berechnung in dieser vereinfachten Form gestaltet, soll an Hand der zweitägigen Versuchsperiode gezeigt werden, die bei der Patientin F. der eben angeführten fünftägigen vorausging:

Pat. F. 17.—19. Febr. 1918.

Berechnung des unmerklichen Gewichtsverlustes:

Anfangsgewicht (17. Febr.)	65 503	
Gewicht der Nahrung und Getränke	4 452	
	69 955	69 955
Endgewicht (19. Febr.)	65 533	
Gewicht des Urins	1 708	
Gewicht des Stuhls	319	
	67 560	67 560
Differenz = unmerkl. Gew. Verl. für 2 Tage =		2 395

Nahrungsaufnahme: 159 gr. Eiweiß, 559,4 gr. Kohlenhydrate, 196 gr. Fett.*) Der Abzug, der vom unmerklichen Gewichtsverlust zu machen ist, um das extrarenal ausgeschiedene Wasser zu ermitteln berechnet sich:
13,9 × 1,59 f. Eiweiß + 42,8 × 5,594 f. K. hyd. — 6,8 × 1,96 f. Fett = 248,2

Extrarenal ausgeschied. Wasser = unmerkl. Gew. Verl. — 248
= 2395 — 248 = 2147

Wasserbilanz vom 17.—19. Febr. 1918.

Einnahmen:		
Aufgenommenes H_2O	3436,3	
Oxydationswasser	569,3**)	
	4005,6	4005,6
Sichtbare Ausgaben:		
Im Urin	1596	
Im Stuhl	253	
	1849	1849
Differenz d. Einnahmen u. d. sichtbaren Ausgaben =		2156,6

Da das Körpergewicht der Patientin während der Versuchsperiode um 30 gr. zugenommen hat, sind wahrscheinlich 30 gr. Wasser im Körper zurückgeblieben. Es fehlen also 2157—30 = 2127 gr. Wasser. Diese sind also wahrscheinlich durch die Lungen und die Haut ausgeschieden

*) In 2600 gr. gekochter Milch, 400 gr. Brötchen, 80 gr. Butter, 150 gr. Ei, 760 gr. gekochter Kartoffeln, 20 gr. Zucker, 262 gr. Griesbrei (von genau bekannter Zusammensetzung); ferner bekam sie 180 gr. Trinkwasser.

**) 38,1 . 1,59 (f. Eiw.)+55,3 . 5,594 (f. K. hyd.)—101,8 . 1,96 (f. Fett).

worden. Die Abweichung von dem Resultat der Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust beträgt also 20 gr. — das ist weniger als 1 %.

Als weiteres Beispiel führen wir eine siebentägige Versuchsperiode der Patientin B. an, die gleichzeitig mit der eben angeführten Patientin F. und mit der gleichen Kost einem gleichartigen Versuche unterworfen wurde. Sie litt im Moment des Versuches noch an einer leichten, fieberlosen, chronischen Bronchitis. Sie hatte unsere Klinik wegen einer Thrombophlebitis an der rechten untern Extremität aufgesucht und war im Zeitpunkt des Versuchs von derselben seit mehreren Wochen genesen.

Bei einem „Anfangsgewicht" von 48,532 am 18. Februar 1918 und einem „Endgewicht" von 48,542 am 25. Februar betrug in diesen sieben Tagen der unmerkliche Gewichtsverlust 5089 gr.

Die Nahrung*) berechnete sich auf 471,2 gr. Eiweiß, 1509 gr. Kohlenhydrate, 555,1 gr. Fett. Der Abzug, der vom unmerklichen Gewichtsverlust zu machen ist, um das extrarenal ausgeschiedene Wasser zu finden war also:

$$13{,}9 \times 4{,}712 + 42{,}8 \times 15{,}09 - 6{,}8 \times 5{,}551 = 673{,}6$$

Extrarenal ausgeschiedenes Wasser = unmerkl. Gew. Verl. — 673,6 = 5089 — 673,6 = 4415,4

Wasserbilanz der 7tägigen Versuchsperiode:

Einnahmen:		
Aufgenommenes H_2O	12 938	
Oxydationswasser	1 579	
	14 517	14 517
Sichtb. Wasserausscheidung in Harn, Kot, Sputum		10 024
Differenz der Einnahmen u. den sichtbaren Ausgaben		4 493

Da das Körpergewicht um 10 gr. zugenommen hat, möglicherweise also 10 gr. Wasser im Körper zurückgeblieben sind, berechnet sich das fehlende, also mutmaßlich durch Lungen und Haut ausgeschiedene Wasser aus der Wasserbilanz auf 4493—10 = 4483. Die Abweichung der beiden Berechnungsarten beträgt also 68 gr., das sind 1,5 %. Ob eine derartige Abweichung als Folge der zu hohen

*) Sie bekam die gleiche Nahrung wie die Pat. F. in der fünftägigen Periode, doch war sie nicht um soviel verkürzt wie die Pat. B. weniger wog, als Pat. F. Es entfielen deshalb auf das Körpergewicht 52 Calorien, ein überschüssiges, hohes Kostmass.

Bemessung des Kostmaßes entstehen kann, wird später zu erörtern sein. Natürlich genügen auch die Fehlerquellen, die der Methode ohnehin anhaften, um eine derartige und selbst noch größere Abweichung zu erklären.

Eine weitere, ebenfalls siebentägige Versuchsperiode bei dem Patienten L. soll als weiteres Beispiel dienen. Es handelte sich um einen 55-jährigen Mann, der 3 Wochen auf unserer Klinik lag und diese wegen Atembeschwerden aufgesucht hatte, die bei körperlichen Anstrengungen auftraten. Der Befund beim Eintritt ergab ein Lungenemphysem. Im Zeitpunkte unseres Versuches war der objektive pathologische Befund: tiefstehende, wenig verschiebliche Lungengrenzen, tief tympanitischer Klopfschall, hauptsächlich in den untern Lungenpartien verlängertes Exspirium mit vereinzelten trockenen Rasselgeräuschen.

Das „Anfangsgewicht" am 30. Juni 1917 betrug 57,565, das „Endgewicht" am 7. Juli 57,417, es fand also eine Gewichtsabnahme um 148 gr. statt, obschon die Kost auch in diesem Falle mit stark 41 Calorien pro Kilo Körpergewicht zu reichlich bemessen war. Der unmerkliche Gewichtsverlust in diesen 7 Tagen betrug 7180 gr.

Die Nahrung*) enthielt 639 gr. Eiweiß, 1627 gr. Kohlenhydrate, 802 gr. Fett. Der Abzug, der vom unmerklichen Gewichtsverlust zu machen ist, um das „perspirierte" Wasser zu finden, berechnet sich also:

$$\underline{13{,}9} \times 6{,}39 + \underline{42{,}8} \times 16{,}27 - \underline{6{,}8} \times 8{,}02 = 730{,}6$$

Extrarenal ausgeschiedenes Wasser = unmerkl. Gew. Verl.
$-730{,}6 = 7180 - 730{,}6 = 6449{,}4$ gr.

Wasserbilanz der 7tägigen Versuchsperiode:

Einnahmen:		
Aufgenommenes H_2O*	11 641	
Oxydationswasser**	1 959,7	
	13,600,7	13 600,7
Sichtbare Wasserausscheidung in Harn, Kot		7 220
Differenz der Einnahmen u. der sichtbaren Ausgaben		6 380,7

Wegen der Gewichtsabnahme von 148 gr. ist die soeben berechnete Zahl um diesen Betrag zu erhöhen, um das Fehlende, also mutmaßlich durch Haut und Lungen

*) In 8400 gr. gekochter Milch, 1800 gr. Brötchen, 300 gr. Butter, 210 gr. Zucker, 1913 gr. Ei; ferner bekam er 2300 gr Trinkwasser.
**) $38{,}1 \cdot 6{,}39 + 55{,}3 \cdot 16{,}27 + 101{,}8 \cdot 8{,}02$.

ausgeschiedene Wasser zu finden. 6380,7+148 = 6528,7. Die Resultate der beiden Berechnungsarten weichen also um 79,3 gr., also um 1,2 % von einander ab.

Nachdem wir unser Verfahren im Prinzip kennen gelernt und in mehreren Beispielen angewandt haben, gehe ich zur Besprechung eines Versuches über, den ich an mir selbst in der Zeit vom 3. bis zum 13. Juni 1918 vorgenommen habe. Es sollen an Hand davon einige Einzelheiten der Versuchsanordnung besprochen werden, die für ihre praktische Anwendung von Bedeutung und vielleicht auch theoretisch nicht ohne Interesse sind. Im Anschluß daran werden wir versuchen können, das Gebiet zu umschreiben, auf dem unser Verfahren Anwendung finden kann.

Ich verbrachte die Versuchszeit im Bett, in angenehm temperiertem Zimmer, mit mittlerem Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Tagsüber beschäftigte ich mich mit den Ausrechnungen anderer Versuche oder mit Lesen; nur bei der Ermittlung meines Körpergewichtes, beim Wiegen und Zubereiten der Nahrung und bei den Urin- und Stuhlmessungen war ich außer Bettes. Mein Körpergewicht wurde 8 Uhr morgens und 8 Uhr abends durch Herrn Dr. Isenschmid bestimmt. Bei normalem Organbefund war auch mein subjektives Befinden nie gestört.

Der Verlauf des Körpergewichtes (morgendliche Wägungen) war folgender:

3. Juni	63,549	9. Juni	61,539
4. „	62,369	10. „	61,369
5. „	62,129	11. „	61,419
6. „	61,939	12. „	61,429
7. „	61,699	13. „	61,229
8. „	61,569		

Es findet sich also in diesen 10 Tagen eine beständige Abnahme des Körpergewichtes. Meine Kost bestand aus Milch, Butter, Brot, Eiern, Zucker und Apfelkompott, und zwar in einer Menge, die in den ersten Tagen etwa 36 ½ Calorien brutto auf das Körpergewicht ausmachte, in den letzten Versuchstagen bis zu 39 Calorien pro Kilo gesteigert wurde. Trotz dieser für einen bettlägerigen Menschen mehr als ausreichenden Kost, sehen wir die Abnahme des Körpergewichtes bis zum Ende des Versuchs anhalten. Die gleiche Erscheinung fanden wir bei manchen andern Versuchspersonen, selbst bei solchen, die über 40

Calorien pro Kilo Körpergewicht bei vollkommener Bettruhe bekamen. Da bei einer derartig reichlichen Kost der Körperbestand wohl nicht gelitten haben kann, ist anzunehmen, daß ein Verlust an Wasser stattgefunden hat. In den ersten 2—4 Versuchstagen war der Wasserverlust bei allen (10) gesunden oder quasi gesunden Personen ein sehr beträchtlicher. Am ersten Tag betrug der Gewichtsverlust am häufigsten, wie in meinem Falle, über ein Kilogramm, am 2., 3. und den folgenden Tagen war er gewöhnlich wesentlich kleiner und betrug nur noch einige 100 gr. Die Gewichtseinbuße in den ersten Versuchstagen belief sich im Ganzen auf 1,5—2,5 Kg.*) bei unseren gesunden Versuchspersonen. Nach Ablauf der ersten 3—4 Tage blieb das Körpergewicht in manchen Fällen constant, in anderen fiel es, wie wir schon gesehen haben, weiter in geringerem Grade ab.

Daß ein Wechsel der Kost den Wasserbestand des Organismus verändern kann, ist durch zahlreiche Beobachtungen vieler Autoren immer wieder bestätigt worden (33). Ueber die Ursache dieser Wirkung besteht aber noch keine Klarheit. Daß eine karge, schlackenarme Kost, die den Verdauungsorganen wenig Arbeit aufbürdet, die Zirkulationsorgane schont und zu besseren Leistungen befähigt und auf diesem Wege zu einer vermehrten Wasserausscheidung führt, ist möglich, kann aber als Erklärung für die den Wassergehalt des Organismus vermindernde Wirkung der Kost bei Gesunden kaum in Betracht kommen.

Die Armut der Kost an Salzen, namentlich an Kochsalz (2) wird häufig als Ursache der entwässernden Wirkung der Milchdiät bezeichnet. Unsere Versuchskost war in der Tat arm an Kochsalz. Außer dem in der Milch und dem Brot enthaltenen (die Butter war ungesalzen), wurde von den meisten Versuchspersonen kein, von anderen, so auch von mir in meinen Selbstversuchen, täglich 1—2 gr. Kochsalz zum Salzen der Eier verwendet. Die kriegsmäßige Kost, die ich sowohl wie die von mir untersuchten Patienten vor dem Eintritt in den Versuch aufgenommen hatten, war ohne Zweifel reicher an Kochsalz, aber namentlich auch reicher an Schlacken.

Die Frage, von welchem Faktor die entwässernde Wirkung der Milch-, Butter-, Brot- und Eierdiät in erster Linie

*) Bei ödematösen Kranken war die Abnahme nach den Beobachtungen von Herrn Dr. Isenschmid bei Uebergang zu unserer Versuchskost meist viel grösser; ja sie betrug gelegentlich in wenigen Tagen über 10 kg, auch bei Kranken, die schon vorher bettlägerig waren.

abhängt, *) müssen wir vorläufig offen lassen, ihre Lösung wird aber zur weiteren Vervollkommnung unserer Methode angestrebt werden müssen.

Wenn auch die entwässernde Wirkung bei Herzkranken von Vorteil ist, so war uns doch diese Erscheinung in hohem Maße hinderlich bei unsern Versuchen an nicht ödematösen Personen. Als Indikator für das Bestehen eines Stoffwechselgleichgewichts mußte uns doch mangels direkter Bestimmungen der Kohlenstoff- und Stickstoffausscheidung, vor allem auch das Gleichbleiben des Körpergewichts dienen. Unsere Kost aber verhinderte in vielen Fällen infolge ihres starken Einflusses auf den Wasserhaushalt das Constantwerden des Körpergewichts innerhalb der beschränkten Zeit, die ein solcher Versuch dauern kann. Ja, der fortgesetzte Abfall des Körpergewichts verleitete uns leider in manchen Fällen dazu, die Nahrungsmenge viel weiter zu steigern, als mit der Forderung des Stoffwechselgleichgewichtes vereinbar war. Es ist nicht ausgeschlossen, daß in einigen von unseren Versuchen nach Ablauf der ersten Tage ein gerader Verlauf der Gewichtskurve dadurch erzielt worden ist, daß geringe Wasserverluste durch Ansatz von Körpersubstanz verdeckt wurden. Da die schlackenarme Versuchskost, trotz ihrer in calorischer Hinsicht ausreichenden Beschaffenheit, unsere Patienten, deren Verdauungsorgane an die äußerst schlackenreiche, den Darm füllende Kriegskost (grobe Gemüse, Schwarzbrot) gewöhnt waren, hungrig ließ, konnten wir oft nicht umhin, den Patienten mehr als 35 Calorien pro Kilo darzureichen.

Arm an Schlacken wird eine Versuchskost, die unsere Berechnungsweise ermöglichen soll, immer gewählt werden müssen, denn nur, wenn mit einem geringen Ausfall durch Unvollständigkeit der Resorption gerechnet werden kann, läßt sich der dadurch bedingte Fehler einigermaßen übersehen. Für exakte Versuche wäre es erwünscht, daß die Kost den Wasserbestand des an eine gebräuchliche, gemischte Kost gewöhnten Organismus möglichst wenig

*) Nach den Erfahrungen unserer Klinik (Dr. Isenschmid) wirkt bei dekompensierten Herzkranken unsere Versuchskost, auch wenn sie calorisch reichlich bemessen ist, mindestens ebenso stark entwässernd als die Unterernährung mit beschränkten Milchmengen (Carrellkur). Ja es wurden damit Entwässerungen auch in einzelnen Fällen erzielt, bei denen die Carrellkur wirkungslos geblieben war. (Die stärkste gegenteilige Wirkung, nämlich eine Anreicherung mit Wasser und eine starke Gewichtszunahme der Herzkranken, bewirkte eine kohlenhydratfreie Kost aus Fett, Eiweiss und Gemüse, wie sie in der Behandlung der Zuckerkrankheit üblich ist.)

verändert. Ob sich dies durch erhebliche Kochsalzzulagen, ob es sich überhaupt erreichen läßt, ohne die Kost so mannigfaltig zu gestalten, daß eine einigermaßen genaue Berechnung unmöglich wird, bleibt noch zu untersuchen. Vielleicht ist es kein Zufall, daß in den beiden einzigen Fällen (vergl. Beispiele Pat. F. und Pat. B.), bei welchen wir zu der in den übrigen Fällen angewandten einfachen Kost eine mäßige Portion gekochter Kartoffeln (200—400 gr.) beifügten, *) der anfängliche Gewichtsabfall früh zum Stehen kam, obschon in jenen beiden Fällen der gesamte Caloriengehalt der Kost nicht höher, ja, eher niedriger war, als in den meisten sonst untersuchten, die stärkere und länger dauernde Gewichtsabnahmen aufwiesen.

Wir wiederholen: für die Genauigkeit der Berechnung ist es erwünscht, ja unerläßlich, eine sehr einfach zuzusammengesetzte Kost zu wählen (9). Je einseitiger aber die Kost ist, um so stärker scheint sie den Wasserbestand des Organismus zu verändern und damit die Gewichtskurve zu komplizieren. Während wir doch in unseren Versuchen ein Gleichbleiben des Körpergewichtes erstreben mußten, um darin einen Anhaltspunkt für das Bestehen eines Stoffwechselgleichgewichtes zu haben, so gelangten wir zu dem Kompromiß einer für die Berechnung zwar etwas komplizierten, immerhin aber noch völlig übersichtlichen Kost, die in der Mehrzahl der Fälle nur aus Milch, Butter, Brot und Eiern bestand. Für Patienten, die keine Abneigung dagegen haben, ist ein Zusatz von Zucker zweckmäßig. Apfelbrei von genau bekannter Zusammensetzung, den wir als den Versuchspersonen besonders willkommenen Zusatz in kleinen Mengen gelegentlich darreichten, würden wir, mindestens bei Versuchen, bei welchen hohe Genauigkeit angestrebt wird, lieber ganz vermeiden.

In allen unseren Versuchen, so auch in meinem Selbstversuch, trat, wie gesagt, mindestens in den ersten Tagen, ein starker Wasserverlust ein, und es erhebt sich die Frage, ob dieses im Ueberschuß austretende Wasser auf dem Wege der Nieren den Körper verläßt, oder aber auf demjenigen der Perspiration. Ob der Kost also eine diu-

*) Dass Kartoffeln so gut resorbiert werden, dass der Verlust durch den Darm das bei unserm Verfahren erträgliche Mass nicht übersteigt, geht neuerdings aus Rubners Darlegungen hervor. (23, 23a.)

retische Wirkung zukommt, oder aber ob sie das Wasser zur Ausscheidung auf einem beliebigen Wege frei macht, etwa wie es Volhard (37) von der Wirkung der Diuretica der Theobromingruppe vermutet.

Während der 4 ersten Tage meines Selbstversuches, in welchen das Körpergewicht um 1840 gr. abnahm, betrug mein unmerklicher Gewichtsverlust durchschnittlich 950 gr. pro Tag, gegenüber einem Durchschnitt von 951 gr. in den späteren Versuchstagen mit ihrem viel geringeren Abfall des Körpergewichtes. Die Perspiration war also in den Tagen des raschen Gewichtsabfalles nicht vermehrt, dagegen war die Menge des Urinwassers mit durchschnittlich 974 gr., gegenüber einem Durchschnitt von 760 gr. an den späteren Versuchstagen, vergrößert. Man könnte also in meinem Falle von einem diuretischen Einfluß der Versuchskost sprechen.

In manchen Versuchen an Patienten dagegen war unter dem Einfluß der Versuchskost in den ersten Tagen auch die Perspiration stark vermehrt. In einem Falle (z. b. Frau Ku., 26 Jahre alt, leichte chronische Cystitis) betrug während eines anfänglichen Sturzes des Körpergewichtes um 1690 gr. in zwei Tagen der durchschnittliche unmerkliche Gewichtsverlust 1455 gr. im Tag, gegenüber 1156 gr. an den späteren Tagen (der Versuch fiel in die letzten Tage Februar 1918), während die Menge des Urinwassers gleich blieb; ja sogar im Durchschnitt in den ersten Tagen etwas geringer war als im späteren Verlauf des Versuchs (1503 gegenüber 1510).

In den meisten Fällen waren sowohl die unmerkliche Wasserabgabe als die Urinausscheidung an der Mehrausscheidung des Wassers beteiligt.

Ob das eine oder andere vorwiegend der Fall war, schien nicht in erster Linie von äußeren Bedingungen, namentlich der Lufttemperatur abzuhängen, denn es fanden sich auch im Sommer Fälle, in welchen die Mehrausscheidung durch die Nieren vor sich ging (mein Selbstversuch), und auch in der kühlen Jahreszeit solche, bei denen der extrarenale Weg bevorzugt wurde (Frau Ku.). Es scheint also, daß der Kostwechsel nur das Wasser zur Ausscheidung frei macht und dieses dann je nach der Eigenart des Organismus auf diesem oder jenem Wege ausgeschieden wird. Von einer lediglich „diuretischen“ Wirkung unserer Milch-Butter-Brot-Eierkost kann deshalb nicht wohl gesprochen werden.

In meinem eigenen Versuch hatte ich mich durch die wahrscheinlich auf Wasserverlust beruhende fortschreitende Gewichtsabnahme bestimmen lassen, mehr Nahrung zu mir zu nehmen, so daß die Kost in den letzten Versuchstagen 39—40 Calorien pro Kilo Körpergewicht betrug. Es ist möglich, daß in jenen Tagen einer Mehrausscheidung von Wasser ein mäßiger Ansatz von Körpersubstanz gegenüberstand, daß also vollständiges Stoffwechselgleichgewicht nicht bestand.

Die drei letzten Tage des Versuches fassen wir als eine Periode zusammen und berechnen sie trotz der Zweifel an dem Bestehen eines Stoffwechselgleichgewichtes nach unserem Verfahren und zwar in seiner vereinfachten Ausführung, die für die praktische Anwendung völlig genügt.

Mein unmerklicher Gewichtsverlust betrug in den drei Tagen vom 10.—13. VI. 2853 gr. Die Kost enthielt 253,7 gr. Eiweiß, 705,3 gr. Kohlenhydrate und 358,9 gr. Fett. *) Die Berechnung des Abzuges, den wir vom unmerklichen Gewichtsverlust zu machen haben, um das extrarenal ausgeschiedene Wasser zu ermitteln, stellt sich nach unserer abgekürzten Berechnungsweise folgendermaßen dar:

$$\text{Abzug} = 13{,}9 \times 2{,}537 + 42{,}8 \times 7{,}053 - 6{,}8 \times 3{,}59 = 312{,}7$$

Extrarenal ausgeschiedenes Wasser
= unm. Gew. Verl. — 312,7
= 2853 — 312,7 = 2540,3

Wasserbilanz der dreitägigen Versuchsperiode:

Einnahmen:			
	in der Nahrung	4027	
	Oxydationswasser**)	852	
		4879	4879
Sichtbare Ausgaben:			
	Urinwasser	2442	
	Stuhlwasser	124	
		2566	2566
Differenz der Einnahmen und der sichtb. Ausgaben			2313

Das Körpergewicht hat um 140 gr. abgenommen. Es fehlen also in der Wasserbilanz 2313+140 = 2453 gr. Wasser, die durch Haut und Lungen abgegeben worden sein müssen. Bei der Berechnung aus dem unmerklichen

*) In 3900 gr. Milch, 300 gr. Brötchen, 390 gr. Zwieback, 600 gr. Ei, 30 gr. Zucker, 165 gr. Butter und 200 gr. Apfelkompott.

**) 38,1 · 2,537 + 55,3 · 7,053 + 101,8 · 3,59.

Gewichtsverlust fanden wir aber 2540 gr. Das Resultat der beiden Berechnungsweisen weicht also um 87 gr. von einander ab, das sind ungefähr 3½ % und zwar ergibt, wenn man voraussetzt, daß der Verlust an Körpergewicht einfach auf Wasserverlust beruht, die Wasserbilanz um 87 gr. weniger fehlendes, also mutmaßlich durch Haut und Lungen ausgeschiedenes Wasser, als die Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust.

Die Frage, ob diese nicht unerhebliche Abweichung nur darauf beruht, daß die vielen kleinen Fehler, die unseren Berechnungen ohnehin anhaften können, sich in diesem Falle ausnahmsweise in der gleichen Richtung liegend summiert haben, oder ob wir den Fehler als Folge einer erheblichen Abweichung von dem Stoffwechselgleichgewicht betrachten sollen, werden wir nicht sicher beantworten können.

Wir können uns aber durch theoretische Ueberlegungen darüber Rechenschaft geben, in welchem Sinne ein Ansatz oder Abbau von Körpersubstanz die Resultate unserer Berechnung beeinflußt, eine Frage, die für ihre Anwendung auf verschiedenen Gebieten der Pathologie und Physiologie von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Man könnte sogar erwarten, daß vielleicht in besonders exakt ausgeführten Versuchen die Gegenüberstellung der beiden Berechnungsarten und die dabei zu Tage tretenden Unterschiede, einen Rückschluß erlauben könnten auf die Art und den Grad eines Ansatzes oder Abbaues von Körpersubstanz.

Wenn wir beispielsweise eine in einem Versuche beobachtete Zunahme des Körpergewichts um 100 gr. so deuten wollen, daß 100 gr. Nahrungsfett zum Ansatz gelangt sind, haben wir bei der Berechnung des extrarenal ausgeschiedenen Wassers aus dem unmerklichen Gewichtsverlust den Abzug von diesem um 6,8 gr. größer anzusetzen, als wenn wir annehmen, daß diese 100 gr. Fett im Organismus verbrannt wären und die Zunahme des Körpergewichtes auf Wasser beruht.

Bei der Berechnung der Wasserbilanz haben wir 101,8 gr. Oxydationswasser weniger einzusetzen, dagegen fehlen uns beim Ziehen der Bilanz 100 gr. Wasser mehr, als wenn wir annehmen, daß die Gewichtszunahme auf Wasser beruht. Dadurch wird das Resultat der Wasserbilanz so gut wie nicht verändert.

Das Gleiche gilt, wenn wir eine Abnahme des Körpergewichtes um 100 gr. auf die Verbrennung von 100 gr. Körperfett beziehen: weder die Wasserbilanz noch die Berechnung des unmerklich ausgeschiedenen Wassers aus dem unmerklichen Gewichtsverlust werden um mehr als einige Gramm beeinflußt.

Mit anderen Worten: der Ansatz oder Abbau von Körperfett macht sich in den Resultaten unserer Berechnungs-

weise nicht geltend, weil der Sauerstoff, der zur Verbrennung von Fett nötig ist, im Gewicht nur wenig abweicht von dem der dabei entstehenden Kohlensäure und weil andererseits 100 gr. Fett, nach Abzug von einigen Prozenten für unvollständige Resorption, auch ungefähr 100 gr. Oxydationswasser geben.

Unsere Methode gibt also auch dann noch eine gute Uebereinstimmung der beiden Berechnungsweisen und brauchbare Resultate, wenn mäßige Mengen Körperfett angesetzt oder abgegeben werden. Dies ist ein Vorteil, wenn die Untersuchung sich nicht auf den Fetthaushalt bezieht; andererseits läßt uns das Verfahren im Stich, wenn es sich darum handelt, festzustellen, ob eine Zu- oder Abnahme des Körpergewichtes auf Wasser oder Fett beruht.

Da gerade diese Frage sich bei theoretischen Untersuchungen sowohl als auch am Krankenbett besonders häufig erhebt, müssen wir feststellen, daß ihr gegenüber — leider — unsere Methode versagt. Hier bleiben wir auf die umständlichen Verfahren angewiesen, welche eine direkte Bestimmung der Wasserausscheidung ermöglichen.

Wenn aus Kohlenhydraten Fett gebildet wird, steigt der respiratorische Quotient bekanntlich auf sehr hohe Werte, ja der Wert 1 kann dabei sogar überschritten werden (15,7). Die Differenz zwischen dem unmerklichen Gewichtsverlust und dem unmerklich ausgeschiedenen Wasser müßte also größer werden, als wenn die gleiche Menge Kohlenhydrate zu den Endprodukten verbrannt würde. Dies müßte sich in unseren Bilanzen dadurch geltend machen, daß die durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wassermenge bei der Berechnung aus dem Gewichtsverlust größer gefunden würde, als sie wirklich ist, wenn man der Rechnung eine vollständige Verbrennung der zugeführten Nahrung zu Grunde legt.

Das Resultat aus der Wasserbilanz wird dagegen kleiner errechnet werden, als der Wirklichkeit entspricht, denn bei der Umwandlung von Kohlenhydrat in Fett wird außer viel Kohlensäure auch viel Wasser abgespalten, sodaß viel Oxydationswasser entsteht. In der gleichen Richtung liegt der Fehler, der gemacht wird, wenn in der Wasserbilanz die durch Fettansatz bewirkte Zunahme des Körpergewichtes irrtümlich auf Wasser bezogen wird.

Wenn während der Versuchsperiode aus den Kohlenhydraten der Nahrung entstandenes Fett angesetzt wird, wird also, wenn wir trotzdem in unserer gewöhnlichen Weise rechnen, das Resultat der Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust zu groß, dasjenige der Berechnung aus der Wasserbilanz dagegen zu klein ausfallen, die beiden Resultate werden also weit von einander abweichen. Ob die Abweichung der beiden Resultate in der soeben angeführten Periode meines Selbstversuches sich auf diese

Weise erklärt, können wir, mangels weiterer Anhaltspunkte natürlich nicht behaupten. Immerhin müssen wir es als möglich erklären.*)

Auch wenn überschüssiges Nahrungseiweiß Ansatz von Eiweiß im Körper bewirkt, wie das ja im wachsenden Organismus, also bei Kindern und namentlich in der Rekonvaleszenz nach schweren akuten Infektionskrankheiten in größerem Maßstabe vorkommen kann, müssen unsere beiden Berechnungsweisen, wenn sie eine vollständige Zersetzung des aufgenommenen Eiweißes in Rechnung stellen, zu einem unrichtigen Resultate führen, und zwar wird die Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust ein etwas zu kleines Resultat ergeben. Die Berechnung aus der Wasserbilanz aber würde ebenfalls ein zu kleines Resultat ergeben, und zwar würde es um sehr viel mehr von der richtigen Zahl abweichen, als die Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust. Die beiden Bilanzen würden also nicht übereinstimmen und im gleichen Sinne, wenn auch in viel geringerem Grade voneinander abweichen als sie es tun, wenn die Umwandlung von Kohlenhydrat in Fett im Spiele ist.

Abweichungen vom Stoffwechselgleichgewicht beeinträchtigen also die Uebereinstimmung unserer beiden Berechnungsweisen nur sehr wenig, wenn es sich um Mehrzersetzung oder Ansatz von Fett (soweit es auf Kosten von Nahrungsfett retiniert wird) handelt, in stärkerem Maße, wenn Körpereiweiß eingeschmolzen oder angesetzt wird, am stärksten, wenn aus Kohlenhydrat Fett entsteht.**)

Diese Ueberlegungen mußten vorausgeschickt werden, wenn wir daran gehen wollen, uns Rechenschaft zu geben, über das Gebiet, auf dem die Untersuchungsmethode anwendbar ist. Dies kann hier nur in großen Zügen geschehen.

*) In Versuchen mit systematischer Ueberernährung und starker Zunahme des Körpergewichtes welche Dr. Isenschmid ausgeführt hat, lagen die Verhältnisse so, dass die Annahme einer Fettbildung aus Kohlenhydraten sich zur Erklärung der sehr viel grössern, immer in der gleichen Richtung liegenden Abweichungen der beiden Berechnungsarten als die bei weitem wahrscheinlichste aufdrängte.

**) Das Umgekehrte, Retention von Kohlehydrat im Körper auf Kosten von Nahrungsfett ist ein Vorgang, der wohl selten bei einer gemischten Kost in grösserem Masstabe eintreten wird. Er würde dann die Resultate unserer Bilanzierung natürlich in der entgegengesetzten Richtung auch stark beeinflussen.

Die Notwendigkeit, Stoffwechselgleichheit vorauszusetzen, bedingt, daß das Verfahren überall da nicht anwenbar ist, wo ein solches Gleichgewicht grundsätzlich nicht besteht; also im Zustande des Hungers oder der Unterernährung und bei Mästung. Auch im wachsenden, kindlichen Organismus, ferner bei schwangeren Frauen, besteht ein Stoffwechselgleichgewicht grundsätzlich nicht, immerhin dürfte in der ersten Hälfte der Schwangerschaft und bei älteren Kindern der in jenen Stadien doch recht geringe Ansatz nur einen so kleinen Fehler bedingen, daß er praktisch in Versuchsperioden von einigen Tagen Dauer vernachlässigt werden kann. Anders in der Rekonvaleszenz nach akuten, fieberhaften Krankheiten, während welcher der Wiederaufbau häufig in kürzester Zeit zu sehr großen Gewichtszunahmen führt.

Im Fieber, namentlich im akuten Fieber, ist das Stoffwechselgleichgewicht in der Regel gestört, und wenn ein solches unter Umständen durch besondere Ernährungsmaßnahmen für kürzere oder längere Zeit erreichbar ist, wird im einzelnen Falle doch selten Gewißheit über das Vorhandensein eines Stoffwechselgleichgewichtes bestehen. Man wird also Fiebernde nicht ohne weiteres mit unserem Verfahren untersuchen können.

In allen Zuständen mit Störungen des Stoffwechselgleichgewichtes kann aber unser Verfahren sozusagen als Hilfsmethode bei exakten, laboratoriumsmäßigen Stoffwechseluntersuchungen, bei welchen eine Stoffwechselbilanz ohnehin aufgestellt wird, dienen. In solchen Versuchen, auch unserer besten Autoren, war die Wasserbilanzbestimmung häufig eine recht primitive und unzulängliche (z. B. 13). In solchen Untersuchungen könnte die Zuhilfenahme des Prinzips unseres Verfahrens mit geringer Mühe zu weit genaueren Resultaten führen.

Nicht ohne weiteres anwendbar wird unser Verfahren in Krankheiten sein, bei welchen Nährstoffe in größerer Menge einer abnormen chemischen Umwandlung unterliegen; namentlich bei der diabetischen Acidose, welche, wie aus den dabei oft gefundenen niedrigen respiratorischen Quotienten hervorgeht, das Verhältnis der Kohlensäureausscheidung zur Sauerstoffaufnahme in kaum berechenbarer Weise verschiebt.

Bei Diabetes ohne Acidose könnte man den im Harn ausgeschiedenen Zucker von dem Kohlenhydrat der Nahrung abziehen und so die Methode doch anwenden, wenn nur das Verhalten des Körpergewichts derartig ist, daß die Annahme eines ungefähren Stoffwechselgleichgewichtes sich rechtfertigt. Selbst in Fällen, wo mehr Kohlenhydrat ausgeschieden wird, als in der Nahrung enthalten ist, brauchte man nicht ohne weiteres auf die Anwendung unseres Verfahrens verzichten. Man hätte die Elemente des im Harn ausgeschiedenen Zuckers von den Elementen der gesamten Nahrung abzuziehen und müßte zu diesem Zwecke eine ausführliche Bilanz aufstellen, wie wir dies hier nur in unserem ersten Musterbeispiel getan haben.

Bei sehr vielen Krankheiten, namentlich bei chronischen, ohne Fieber verlaufenden, wird sich dagegen unser Verfahren ohne weiteres anwenden lassen, wenn nur der Patient sich genügend ernähren läßt und nicht zu unbeholfen ist, um täglich auf die Wage gesetzt zu werden. Namentlich bei Herz- und Nierenkranken, mit oder ohne Oedemen, wird das Verfahren in den meisten Fällen angewendet werden können.

Bei Nierenkranken wird man, wenn der Verlust von Eiweiß durch den Harn erheblich ist, das Harneiweiß bei der Berechnung vom Nahrungseiweiß abzuziehen haben. Auch wird sich bei allen Krankheiten der Nieren empfehlen, sobald eine größere Genauigkeit erstrebt wird, den Wassergehalt des Harnes direkt zu bestimmen. Abweichungen von der Haeser'schen Regel an Hand derer wir den Wassergehalt des Urin in unseren Versuchen bestimmt haben, sind, wie namentlich Jacob (5) gezeigt hat, gerade bei Nierenkrankheiten besonders häufig und von erheblicher Größe. Wenn Durchfälle bestehen, namentlich solche urämischer Natur, geht so viel Stickstoff und vielleicht auch Eiweiß durch den Stuhl verloren, daß eine Berechnung mittelst unseres Verfahrens nicht angeht. Kleinere Stickstoffverluste durch den Kot, wie sie bei Insuffizienz der Nieren auch ohne Durchfälle vorkommen, werden dagegen die Richtigkeit unserer Berechnung kaum wesentlich stören; handelt es sich doch meist nicht um Eiweißverluste. Auch verändert der Einsatz von einigen Gramm mehr oder weniger Eiweiß das Resultat unserer Berechnung aus dem unmerklichen Gewichtsverlust nur sehr wenig.

Auch bei Herzkranken müssen wir damit rechnen, daß die Resorption, namentlich des Fettes, gelegentlich leiden

kann, wenn stärkere Stauung im Abdomen besteht. Man wird es also vermeiden, Fälle mit erheblichen Beschwerden von seiten der Verdauungsorgane für die Untersuchung mit der beschriebenen Methode auszusuchen. Im Ganzen aber werden Herzkranke ein besonders dankbares Objekt für ihre Anwendung sein.

Auch bei Stauungen im Abdomen aus anderer Ursache, bei Lebercirrhose, infolge von Ascites sonstiger Genese, kann die Resorption der Nahrung, namentlich des Fettes gestört sein (27), so daß sich nicht wird einschätzen lassen, wie groß der Abzug für unvollständige Resorption in unsere Rechnung einzusetzen ist. Wir werden bei der Untersuchung derartiger Fälle, wenn wir nicht überhaupt darauf verzichten wollen, auf größere Ungenauigkeit gefaßt sein müssen.

Daß die schlechte Fettresorption bei Gallengangsverschluß eine auf der Kost beruhende Berechnung und namentlich das Stoffwechselgleichgewicht stören, bezw. unmöglich machen muß, ist selbstverständlich, ebenso, daß man bei Krankheiten des Pankreas mit ihrer schlechten Resorption auch des Eiweißes auf eine derartige Berechnung wird verzichten müssen.

Die Blutkrankheiten, namentlich die Chlorose, bieten bezüglich des Wasserhaushaltes manche Probleme. Da die Erzielung eines Stoffwechselgleichgewichtes dabei in der Regel gelingen wird und die Resorption der Nahrung nur selten gestört ist, werden wir hier in den meisten Fällen unser Verfahren anwenden können. Ebenso in den meisten Fällen von perniziöser Anaemie und selbst von Leukaemie, soweit nicht mangelhafte Resorption oder Marasmus unserer Berechnungsweise die Grundlage entziehen.

Auch bei Erkrankung der Drüsen mit innerer Sekretion, namentlich der Schilddrüse, werden die Störungen des Wasserhaushaltes mit unserer Methode studiert werden können.

Es würde über den Rahmen dieser Arbeit weit hinausführen, wenn ich die Probleme der Pathologie auch nur aufzählen wollte, die sich zur Bearbeitung mittelst unserer Methode eignen. Wir möchten aber noch darauf hinweisen, daß auch manche physiologische Fragen der Untersuchung mit unserem Verfahren zugänglich sind.

Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, Veränderungen der Lufttemperatur, des Luftdruckes usw. be-

einträchtigen die Genauigkeit unserer Methode nicht und werden in ihrem Einflusse auf den Wasserhaushalt gerade mittelst derselben studiert werden können.

Auch den Einfluß der Bekleidung, der Tiefe der Atmung, verschiedener Verrichtungen, verschiedener Lebensweise und mancher anderer Faktoren auf den Wasserhaushalt wird das Verfahren zu bestimmen gestatten, soweit die Versuchsbedingungen nicht etwa die Erzielung eines Stoffwechselgleichgewichtes verunmöglichen.

Zusammenfassung:

Es wird eine Methode beschrieben, um beim Menschen aus dem unmerklichen Gewichtsverlust die Menge des durch die Haut und die Lungen ausgeschiedenen Wassers zu berechnen. Als Grundlage der Berechnung dient außer dem unmerklichen Gewichtsverlust die Kost, deren Einfluß auf den respiratorischen Quotienten, bezw. auf den Gaswechsel sich berechnen läßt, wenn der Organismus sich im Stoffwechselgleichgewicht befindet. Aus dem unmerklichen Gewichtsverlust und dem auf diese Weise mit annähernder Genauigkeit berechneten Gaswechsel, kann man für Perioden, die sich mindestens auf Tage bemessen, die Menge des extrarenal ausgeschiedenen Wassers recht genau berechnen.

Die Aufstellung ausführlicher Gaswechselbilanzen und Wasserbilanzen läßt sich durch den Gebrauch einfacher Standardzahlen vermeiden. Die Genauigkeit wird dadurch nicht beeinträchtigt, wohl aber die Berechnung so wesentlich vereinfacht, daß sie nur geringen Zeitaufwand verursacht.

Das Verfahren ist auf weiten Gebieten der Physiologie und Pathologie, auch zur Bearbeitung hygienischer Probleme anwendbar, kann aber nicht den Anspruch auf universelle Anwendbarkeit erheben, da die Vorbedingungen seiner Gültigkeit, namentlich diejenige des Stoffwechselgleichgewichtes in manchen Zuständen nicht erfüllt werden können.

Literatur:

1. Atwater: Neue Versuche über Stoff- und Kraftwechsel im menschlichen Körper. Ergeb. der Physiolog. Herausgegeben v. Asher und Spiro. III. Jahrg. I. Abtlg. 1904.
2. Belle: Ernährung ohne Kochsalz. Zeitschr. f. Biologie. Bd. 45. 1904.
3. Bieling: Ueber die Perspiration bei universellem Ekzem. I. D. Kiel 1894.
4. Grafe: Ein Respirationsapparat. Hoppe-Seyler's Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. 65, 1910.
5. Jacob: Ueber das spezifische Gewicht des Harns etc. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 110, 1913.
6. Janssen: Die Hautperspiration beim gesunden Menschen und bei Nephritikern. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 33,1883.
7. Jaquet: Der respiratorische Gaswechsel. Ergeb. der Physiol. Herausgeg. v. Asher & Spiro. II. Jahrg. I. Abtlg. 1903.
8. König: Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel. 4. Aufl. 1904.
9. Krehl: Zur Kenntnis des Digitalisgebrauches und des Wasserwechsels. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 128,1919.
10. Laschtschenko: Ueber den Einfluß des Wassertrinkens etc. Arch. f. Hyg. Bd. 33, 1898.
11. Leyden: Untersuchungen über das Fieber. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 5, 1869.
12. Loewy & Wechselmann: Zur Physiologie und und Pathologie des Wasserwechsels und der Wärmeregulation seitens des Hautorgans. Virch. Arch. Bd. 206, 1911.
13. Lüthje: Beiträge zur Kenntnis des Eiweißstoffwechsels. Zeitschr. f. klin. Medizin. Bd. 44, 1902.
14. Magnus-Levy: Verhalten und Rolle des Wassers im Stoffwechsel. v. Noorden's Handb. d. Path. d. Stoffwechsels. II. Aufl. I. Bd. 1906.

15. Derselbe: Der Stoffhaushalt des Menschen. v. Noorden's Handb. d. Path. d. Stoffwechsels. II. Aufl. I. Bd. 1906.
16. Nothwang: Luftdruckerniedrigung u. Wasserdampfabgabe. Arch. f. Hyg. Bd. 14, 1892.
17. Nuttal: Ueber die Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit der Luft etc. Arch. f. Hyg. Bd. 23, 1895.
18. Pettenkofer: Ueber die Respiration. Annalen der Chem. u. Pharm. II. Supl. Bd. 1. H. 1862 u. 1863.
19. Pettenkofer & Voit: Untersuchungen über den Stoffwechsel des Menschen. Zeitschr. f. Biologie. Bd. 2, 1866.
20. Rubner: Notiz über die Wasserausscheidung durch die Lungen. Arch. f. Hyg. Bd. 33, 1889.
21. Derselbe: Lehrbuch der Hygiene. 8. Aufl. S. 91.
22. Derselbe: Zur Bilanz unserer Wärmeökonomie. Arch. f. Hyg. Bd. 27, 1896.
23. Rubner & Thomas: Die Ernährung mit Kartoffeln. Arch. f. Anat. & Physiol. Physiol. Abtlg. 1918 bis 1919. S. 1.
23a. Rubner & Hinhedes Untersuchungen über die Verdaulichkeit der Kartoffeln; ebenda S. 16.
23b. Rubner: Ueber die Ausnutzung einiger Nahrungsmittel im Darmkanal des Menschen. Zeitschr. f. Biolog. Bd. 15, 1879.
24. Rubner & Lewaschew: Ueber den Einfluß der Feuchtigkeitsschwankungen etc. Arch. f. Hyg. Bd. 29,1893.
25. Schierbeck: Eine Methode zur Bestimmung der Ventilation durch die Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. 16,1893.
26. Derselbe: Die Kohlensäure- und Wasserausscheidung der Haut etc. Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abteilung. 1893.
27. Schmidt: Krankheiten des Darmes. II. Resorptionsstörungen v. Noorden's Handb. f. Stoffwechsel. II. Aufl. Bd. 1, 1906.
28. Schwenkenbecher: Ueber die Ausscheidung des Wassers durch die Haut des Gesunden und Kranken. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 79,1903.
29. Derselbe: Die endgültige Beseitigung des Begriffs „Perspiratio insensibilis". Verhandl. d. 25. Kongresses f. inn. Med. Wien 1908.

30. Derselbe: Die pathologischen Störungen der Hautsekretion. Handb. d. allgem. Pathol. Herausgeg. v. Krehl & Marchand. II. Bd. 2. Abtlg. 1913.
31. Derselbe: Nährstoffgehalt und Nährwert von Speisen zur Berechnung von Kostverordnungen. C. Thieme, Leipzig 1914. 3. Aufl.
32. Schwenkenbecher & Inagaki: Ueber den Wasserwechsel des fiebernden Menschen. Arch. f. experim. Pathol. u. Pharm. Bd. 54,1906.
33. Siebeck: Die Wasserausscheidung durch die Nieren und der Wasserhaushalt des Organismus. Arch. f. klin. Medizin. Bd. 128,1919.
34. Sondén & Tigerstedt: Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 6, 1895.
35. Voit Karl & Ernst & I. Forster: Ueber die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsapparates. Zeitschr. f. Biolog. Bd. 11,1875.
36. Voit & Konstantinidi: Ueber die Kost eines Vegetariers. Zeitschr. f. Biolog. Bd. 25, 1889.
37. Volhard: Die doppelseitigen haematogenen Nierenerkrankungen. Handb. d. inn. Medizin. Herausgeg. v. Mohr & Stähelin. III. Bd. II. Teil.
38. Willebrandt: Ueber die Kohlensäure- und Wasserausscheidung durch die Haut. Skand. Arch. f. Physiologie. Bd. 13, 1903.
39. Wolpert: Einfluß der Luftbewegung auf die Wasserdampf- und Kohlensäureabgabe des Menschen. Arch. f. Hyg. Bd. 33, 1898.